

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI FAKULTA
TEXTILNÍ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

LIBEREC 2012

KATEŘINA KRÁLOVÁ

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ



Studijní program: B3107 Textil

Studijní obor: 3107R007 Textilní marketing

**TEXTILNÍ STRUKRURY S NETEXTILNÍMI
ELEMENTY – MECHANICKO-FYZIKÁLNÍ
VLASTNOSTI**

**TEXTILE STRUCTURES WITH NOT-TEXTILE
ELEMENTS – MECHANICAL AND PHYSICAL
PROPERTIES**

Kateřina Králová

KHT – 821

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Bc. Monika Vyšanská, Ph.D.

Rozsah práce:

Počet stran textu:	36
Počet obrázků:	24
Počet grafů:	12
Počet stran příloh:	7

Zadání bakalářské práce

(originál)

Prohlášení

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušila autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním bakalářské práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byla jsem seznámena s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé bakalářské práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé bakalářské práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědoma toho, že užít své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci dne

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Mé poděkování patří především vedoucí práce Ing. Bc. Monice Vyšanské, Ph.D. za cenné rady a vstřícnost během tvoření této práce. Dále bych chtěla poděkovat za informace a ochotu spolupracovat své konzultantce Ing. Kateřině Janouchové a Ing. Lud'ku Hellerovi, Ph.D. z Fyzikálního ústavu akademie věd České Republiky.

ANOTACE

Obsahem této bakalářské práce je navržení výroby pleteniny s netextilním elementem v podobě NiTinolového drátku.

Bakalářská práce se nejprve zabývá seznámením s pojmem „materiály s tvarovou pamětí“. Dále jsou uvedeny mechanicko-fyzikální vlastnosti materiálů s tvarovou pamětí. Nechybí zde ani uvedení příkladů, kde se materiály s tvarovou pamětí používají nebo byly použity. Následuje uvedení strojů a zařízení a materiálů, které byly použity. Je zde popsána příprava NiTi drátku před uložením do pleteniny. Dalším krokem je výroba pleteniny s vloženým útkem v podobě NiTinolového drátku. Ke konci bakalářské práce jsou uvedeny testy, které byly provedeny na vyrobeném vzorku pleteniny s vloženým NiTi drátkem. V závěru je diskuse a vyhodnocení naměřených dat.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Tvarová paměť, textilie, NiTinol, NiTi drátek, vlákna, osnovní pletenina.

ANNOTATION

The content of this thesis is the design of knitwear production with nontextil NiTinol element in the form of wire. Firstly the thesis deals with introduction the term “materials with shape memory”. Then follows the clarification of mechanical and physical properties of materials with shape memory, including examples of use. Further there is the list of machinery, equipment and materials that are used for production. Then the thesis describes the preparation of NiTi wire before it is inserted into the fabric. Next step is the production of weft knitted fabric with an embedded wire in the form of NiTinol. At the end there are given results of tests that were performed on a embedded NiTi wire fabric sample. The thesis ends up in the discussions and evaluation of measured data.

KEY WORDS:

Shape memory, textile, NiTinol, NiTi wirw, fibers, warp knit.

OBSAH

Seznam zkratek.....	9
1. Úvod	10
2. Teoreticky – řešební část	11
2.1. Materiály s tvarovou pamětí	11
2.2. Historie slitin s tvarovou pamětí.....	12
2.3. Mechanicko-fyzikální vlastnosti SMA.....	12
2.3.1. Hystereze ve slitině NiTiInol	14
2.3.2. Pseudoplasticita	15
2.3.3. Superelasticita.....	16
2.4. Ostatní vlastnosti NiTiInolu [11]	18
2.5. Použití paměťových materiálů.....	18
2.5.1. NiTiInol v leteckém průmyslu	18
2.5.2. Vesmírné vozítko Sojourner	19
2.5.3. NiTiInol v medicíně.....	19
2.5.4. Budoucnost NiTiInolu	21
2.6. Použité stroje a zařízení.....	22
2.6.1. Tavná pistol	22
2.6.2. Osnovní pletací stroj Rašl.....	22
2.6.3. Tahové i tlakové zařízení.....	23
2.7. Použité materiály	26
2.7.1. Polyester	26
2.7.2. Termoplast.....	27
3. Experimentální část	28
3.1. Povrstvení NiTiInolového drátku termoplastem.....	28
3.2. Porovnání dat z přístroje Instron	30
3.3. Příprava vzorku pleteniny s vloženým útkem v podobě NiTi drátku.....	32

3.4. Testování na bulge testeru	34
3.5. Při jednoosém tahovém namáhání	39
3.6. Diskuse výsledků	40
4. Závěr	41
Seznam obrázků	42
Použitá literatura	44
Příloha	47

SEZNAM ZKRATEK

tzv.	takzvaně
atd.	a tak dále
SMA	Shape Memory Alloys (materiál s tvarovou pamětí)
Obr.	obrázek
č.	číslo
Cu	měď
Ag	stříbro
Au	zlato
Fe	železo
Sn	cín
Hg	rtuť
Pb	olovo
Zn	zinek
Sb	antimon
Bi	bismut
Co	kobalt
Al	hliník
Cr	chrom
M_s	začátek přeměny z austenitu do martenzitu při ochlazení
M_f	konec přeměny z austenitu do martenzitu při ochlazení
A_s	začátek přeměny z martenzitu do austenitu při zahřátí
A_f	konec přeměny z martenzitu do austenitu při zahřátí
cm	centimetr
tex	jemnost
N	newton
Hř	hustota sloupku
Hs	hustota řádku
tj.	to je

1. ÚVOD

Cílem této bakalářské práce je navrhnout pleteninu s vloženým netextilním elementem v podobě NiTinolového vlákna. V dnešní době se neustále mluví o vývoji inteligentního textilu. Do inteligentního textilu se přidávají materiály s tvarovou pamětí. Spousty lidem je tento pojem neznámý. Proto je nejdříve pojem inteligentní textilie vysvětlen. Jednoduše se dá říct, že materiál s tvarovou pamětí je takový materiál, který si více či méně dokáže na určitou dobu času zapamatovat svůj tvar a po deformaci se do něj vždy vrátí. Je důležité zdůraznit, že i když má NiTinol tvarovou paměť, v této práci je využita hlavně jeho superelastická vlastnost. Výsledkem této práce by měla být tak navržená pletenina s NiTinolovým vláknem, aby převzala jedinečné vlastnosti slitiny Niklu a Titanu.

Nechybí zde ani historie materiálů s tvarovou pamětí. Lidé se s těmito materiály setkávají již od 19. století. Proto jsou zde popsány první zmínky o těchto unikátních materiálech a jejich vynálezcích.

V této práci je použit jako materiál s tvarovou pamětí již zmíněný NiTinol. Proto další částí této bakalářské práce jsou mechanicko-fyzikální vlastnosti NiTinolu, kde je zařazeno popsání hystereze, pseudoplasticity, superelastivity a všechny vlastnosti s NiTinolem spojené.

Další součástí práce je použití neboli využití paměťových materiálů. Zde jsou popsána odvětví, kde je NiTinol pro jeho vynikající vlastnosti použit. Najdeme tady využití NiTinolu v leteckém a vesmírném průmyslu, ale i v medicíně. Nechybí zmínka ani o plánované budoucnosti této slitiny.

Další kapitola popisuje použité stroje a zařízení. Najdeme v ní stroje a zařízení, které byly v projektu použity. Např. Přístroj pro jednoosé namáhání nebo osnovní pletací stroj Rašl, na kterém byla pletenina vyrobena.

Následuje popis a vyjmenování použitých materiálů a popsání polyesteru, ze kterého je vyrobena pletenina. Najde se zde i termoplast, který byl použit na povrstvení NiTi drátku.

V této bakalářské práci je jednou z nejdůležitějších kapitol Experimentální část. V této části je podrobně popsáno povrstvení NiTi drátku, vyrobení pleteniny s vloženým útkem v podobě NiTinolového drátku. Jsou zde naměřené údaje při testování vlastností této pleteniny s NiTi vlákny. Testovaná byla již zmíněná pletenina s NiTi vlákny, ale i

NiTi drátek samotný. Tím bylo ověřeno to, co je popsáno v literatuře, jež se zabývá danými vlastnostmi. Také byla zkoumána pletenina samotná, aby se daly porovnat právě její vlastnosti s vlastnostmi pleteniny s NiTi vlákny.

V závěru práce se nachází diskuse a vyhodnocení všech naměřených údajů. Je zde odpovězeno na základní otázku této práce. „Je možné vyrobit takovou pleteninu s vloženými NiTi vlákny, aby se dalo říci, že převzala unikátní vlastnosti této slitiny?“

2. TEORETICKY – REŠERŠNÍ ČÁST

2.1. Materiály s tvarovou pamětí

Materiály s tvarovou pamětí se používají do tzv. „inteligentních textilií“. Pod tímto názvem se skrývají takové textilie, které mají unikátní vlastnosti. Tím se liší od tradičních materiálů. Inteligentní textilie jsou takové struktury, které reagují na teplotu okolí nebo různé typy záření, pH, atd. [3].

Mezi materiály s tvarovou pamětí by se daly částečně zařadit i klasické textilie. Když textilií dostatečně zafixujeme v určitém tvaru, dokáže si ho zapamatovat, ale vrací se do svého původního stavu velmi pomalu. Poprvé se zkoušelo dát tvarovou paměť přírodnímu hedvábí. To se potahovalo hydrolyzovaným fibroinem, keratinem a kolagenem. Dále se hedvábí usušilo, obloučkování a stabilizace probíhala při vysokém tlaku. Když takto připravenou přízi zahřejeme na 60°C, tak se hedvábí stane objemnou přízí. Naopak při zchlazení se vrátí zpět do hladké příze. Tomuto se říká tzv. „jednosměrná tvarová paměť“. Pokud se tvar mění i při ochlazení a ne jen při zahřátí, jedná se o materiály s obousměrnou tvarovou pamětí [3].

Se slitinami s tvarovou pamětí se setkáváme, aniž bychom si to uvědomovali. Například v medicíně nebo leteckém průmyslu se tyto slitiny již používají. V anglickém jazyce se materiálům s tvarovou pamětí říká: *Shape Memory Alloys (SMA)*. Mezi nejznámější slitiny s tvarovou pamětí patří slitina Niklu a Titanu – NiTinol. Chování NiTinolu připomíná kouzelnický trik. NiTinol se dá zdeformovat tak, že podstatně změní svůj tvar. Po zahřátí NiTinolu nad určitou teplotu se samovolně vrátí do původního tvaru [1]. U NiTinolu je efekt tvarové paměti související s deformací až 8%, tento efekt nalezneme také u slitin na bázi mědi, ale je nižší a to o 4-5%. U NiTinolu tedy je efekt tvarové paměti větší a tedy i lepší, bohužel ale slitina Niklu a Titanu je na rozdíl od mědi o

dost dražší. Efekt tvarové paměti je vyobrazen na obrázku číslo 1, kde při zvyšující se teplotě dochází k narovnání pružiny do rovného tvaru. Závisí na čase a teplotě [3].



Obr. č. 1 Změna tvaru polymerního materiálu v závislosti na teplotě a času [3].

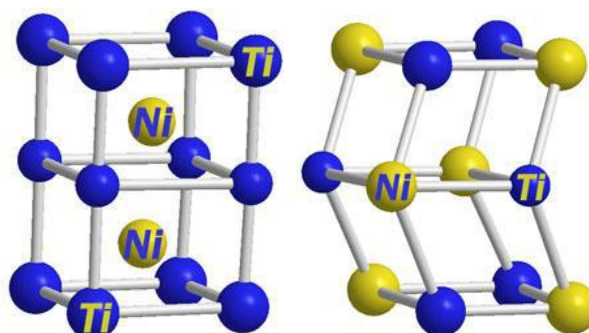
2.2. Historie slitin s tvarovou pamětí

Lidstvo používá kovy od pradávna. Podle objevených kovů se nazývají i historická období jako je doba bronzová nebo doba železná. Mezi nejstarší české odborníky v tomto oboru byl Lazarus Ercker ze Schreckenfelsu (1528 – 1594). Pracoval v Kutné Hoře a působil i jako pražský mincmistr. V 18. století prozkoumal Gellert v Petrohradě již známé kovové prvky (Cu, Ag, Au, Fe, Sn, Hg, Pb, Zn, Sb, Bi). V 19. století se rozvíjela věda, které dnes říkáme „Intermetalika“. Ta zkoumá všechny zvláštní vlastnosti slitin kovů. V roce 1900 bylo známo 37 slitin se zvláštními vlastnostmi, dnes se počet těchto slitin odhaduje na počet 25 000 [1].

Efekt tvarové paměti byl nalezen u plastů, keramiky, ale především u kovových slitin. Poprvé byl zpozorován u slitiny zlato-kadmium (AuCd) v roce 1951. Jev tvarové paměti byl více prozkoumáván v roce 1963. Ve stejném roce byla objevena slitina Niklu a Titanu. Tvarová paměť se našla u řady dalších kovů, bohužel u nich není tento efekt tak stabilní [2].

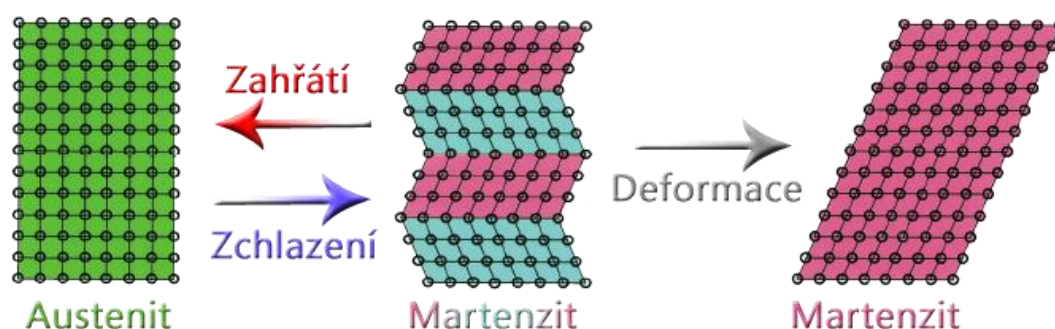
2.3. Mechanicko-fyzikální vlastnosti SMA

Změny tvaru materiálů s tvarovou pamětí jsou způsobeny termomechanickým chováním závislým na změnách krystalických struktur [1]. U materiálů s tvarovou pamětí jsou dvě fáze změn, a to austenitická fáze a martenzitická fáze. Austenitická struktura se projevuje za vyšších teplot a má velmi symetrickou krystalovou mřížku [4]. Austenitická struktura vznikne pouze za předpokladu, že ve slitině je dostatečné množství austenitotvorných prvků [9]. Krystalická struktura NiTinolu je vyobrazena na obrázku číslo 2.



Obr. č. 2 Krystalová struktura NiTinolu, atomy Niklu a Titanu se mění ve směru úhlopříčky krychle (vlevo), krystalická změna martenzitické deformace (vpravo) [13].

Martenzitická struktura vzniká při nižších teplotách. Martenzitická transformace je bezdifuzní transformace, která probíhá v pevných fázích při ochlazování, kde dochází k velmi malému posunu atomů. Tyto vzdálenosti jsou menší než meziatomové vzdálenosti. Někdy je nazývána jako „military transformation“. I když jsou tyto posuny nepatrné, ve výsledku se tyto změny projeví jako změna celkového tvaru. Tyto změny se vyvolají teplotou nebo napětím [12]. Strukturální změnu při martenzitické fázi lze popsat jako změnu původních krychlí na kosé kvádry. Tato změna je vyobrazena na obrázku číslo 3. Z původně pravých úhlů se stanou úhly nepravé. Nemusí vždy vzniknout stejný tvar. Z původní symetrické mřížky může vzniknout několik krystalograficky shodných, ale jinak natočených tvarů. Martenzit u NiTinolu může zaujmout až 24 možných tvarů, vzhledem k původní krychli [1]. Transformační hodnoty teplot závisí na obsahu Niklu, popřípadě legováním dalšími kovy jako jsou například Co, Cu, Al, Fe, Cr. Při zvýšeném obsahu Niklu lze docílit nižších teplot M_s . Dalšími faktory, které ovlivňují transformační teplotu, je počáteční velikost deformace nebo znečištění v samotné slitině [12]. Na obrázku číslo 3 je vyobrazena martenzitická transformace.



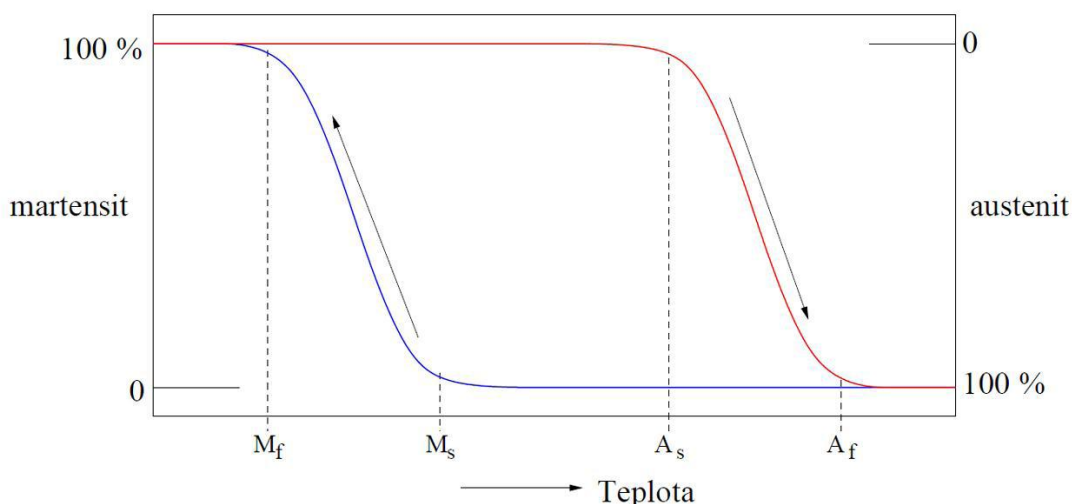
Obr. č. 3 Martenzitická transformace [10].

Obrázek číslo 3. ukazuje transformaci austenitu na martenzit při změně teploty, ale také orientaci martenzitu. Zeleně je vyznačena symetrická krystalová mřížka austenitu. A růžově je vyobrazen martenzit ve dvou variantách asymetrické krystalické mřížky [1]. Změna mezi austenitem a martenzitem se nazývá martenzitická transformace. Jev tvarové paměti lze popsat následujícími čtyřmi kroky [12]:

1. Materiál se ochladí pod teplotu M_s a nastane transformace z austenitu na martenzit. Zatím se neprojeví žádná změna tvaru.
2. Materiál se zatíží v martenzitické fázi při nízké teplotě. Nastane změna tvaru. Při určitém zatížení martenzit změni svůj tvar na jemu nejvíce vyhovující. Při tomto zatížení dochází k superelastickému jevu.
3. Materiál se odlehčí. Po tuto dobu si martenzit zachová svůj tvar.
4. Materiál se zahřeje na teplotu nad A_s a zpět se transformuje do austenitické fáze. Martenzit tedy změni svůj tvar na austenit a zpět na symetrickou krystalovou mřížku. V tomto kroku dojde i k samotnému jevu tvarové paměti [12].

2.3.1. Hystereze ve slitině NiTiInol

U materiálu SMA je charakteristické hysterezní chování. To je když se mění teplota nebo napětí podle toho, jestli materiál přechází z martenzitu do austenitu či naopak. Hysterezní chování se hodně mění podle toho jak je NiTiInol vyroben a podle toho kolik je ve slitině Niklu a Titanu. Rozsah teplot při transformaci martenzit – austenit během ohřevu je vyšší než při opačném jevu při ochlazování. Teplotní hystereze je rozdíl mezi teplotami transformace za doby ohřevu a ochlazení. Hysterezi lze vysvětlit jako rozdíl mezi teplotami během transformace z martenzitu na austenit, při němž je materiál z 50% transformován na martenzit za dobu ochlazování a z 50% transformován na austenit za dobu ohřevu [12]. Při transformaci mezi austenitem a martenzitem a naopak vzniká hysterezní křivka, která je znázorněna na obrázku číslo 4. Na obrázku jsou vyobrazeny teplotní rozdíly písmeny: M_s , M_f , A_s , A_f a na svislé ose najdeme procentuelní znázornění austenitu a martenzitu v závislosti na teplotě. Mezi hodnotami $M_s - A_f$ je přibližný rozdíl 20 – 30 °C [4].



Obr. č. 4 Hysterezní křivka [4].

M_s = začátek přeměny z austenitu do martenzitu při ochlazení

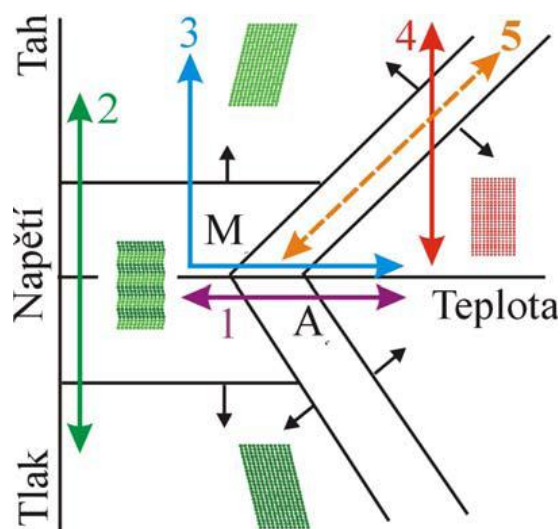
M_f = konec přeměny z austenitu do martenzitu při ochlazení

A_s = začátek přeměny z martenzitu do austenitu při zahřátí

A_f = konec přeměny z martenzitu do austenitu při zahřátí

2.3.2. Pseudoplasticita

Mezi M_f a M_s se deformuje SMA materiál plasticky a po odlehčení deformace zůstává. Martenzit si najde nejvhodnější tvar. Za touto mezí (M_s) se materiál chová elasticky. Nazývá se to pseudoplasticita a projevuje se v nižších teplotách na rozdíl od superelasticity. Nedochází k samovolnému návratu do původního tvaru. Po následném zahřátí na teplotu A_f se dostane materiál do austenitu a změní svůj tvar na původní. Tato vlastnost se dá využít a to tak, že při ohřevu bude SMA materiálu bráněno v návratu do původního tvaru. Tím vznikne velké napětí a síla může dosahovat až stovky MPa. Tato síla se dá využít například ke štěpení kamene [1]. Jev tvarové paměti v závislosti na napětí a teplotě je vyobrazen na obrázku číslo 5.



Je-li materiál namáhán v martenzitické fázi v tahu a tlaku, jedná se o cestu 2 (obr. 5). V této fázi se snadno deformuje. Současně se v této fázi martenzit promění, pro něj v nejvýhodnější tvar. Po odlehčení se materiál chová elasticky. Když se materiál zahřeje nad teplotu A_f transformuje se zpět do austenitu na obr. 5 je

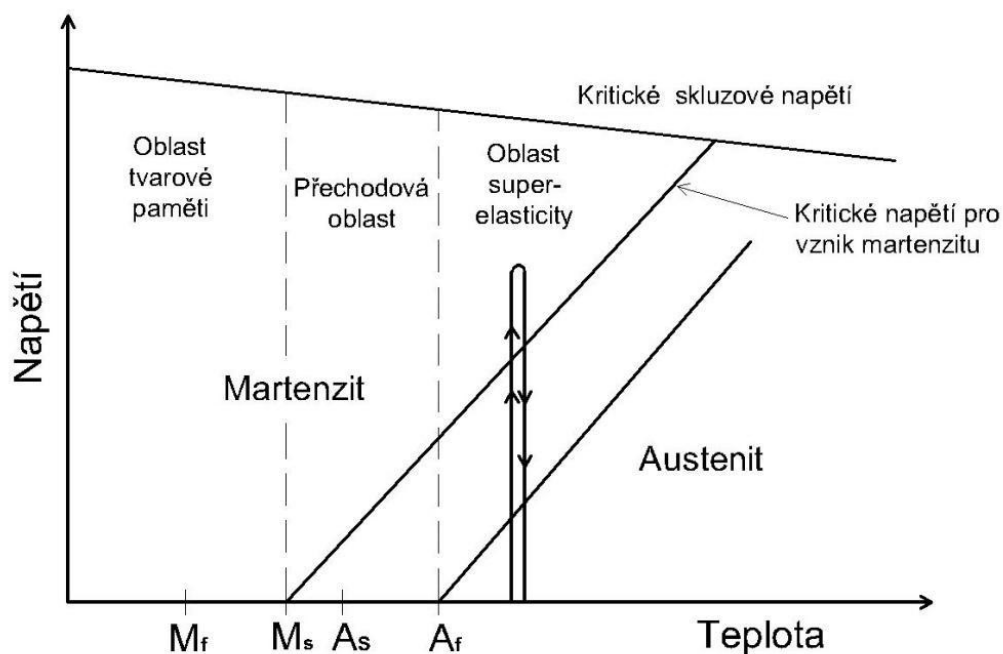
toto vyznačeno cestou 3 [1].

Obr. č. 5 Tvarová paměť v závislosti na napětí a tahu [13].

- 1- tepelný cyklus
- 2- pseudoplasticita
- 3- jev tvarové paměti
- 4- superelastická
- 5- termomechanický cyklus

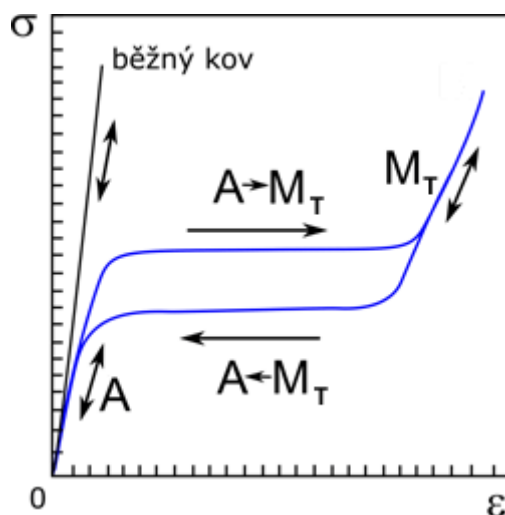
2.3.3. Superelastická

Je to vlastnost, která se projevuje při teplotě vyšší než je A_f . Po překročení teploty vyšší než je A_f , napětí způsobí martenzitickou transformaci. V martenzitické oblasti se materiál chová pružně. Tato fáze není stabilní a tak po odtížení napětí se opět transformuje do austenitu, čímž materiál získá svůj původní tvar. Vratná deformace u SMA materiálů může dosahovat až 15%. Je to deformace, která se okamžitě vrátí do původního tvaru bez známky poškození materiálu. I v tomto případě existuje hystereze, která má za následek, že energie spotřebovaná při návratu do původního tvaru je menší, než energie, která se spotřebuje při zatěžování. U běžných kovů elastická deformace dosahuje maximálně 0,7%. Proto se mluví i o tzv. superelasticitě [4]. Superelasticitu v závislosti na teplotě a napětí můžeme vidět na obrázku číslo 6.



Obr. č. 6 Superelasticita v závislosti na teplotě a napětí [4].

Superelastická křivka je velmi nelineární a vždy u ní najdeme hysterezi. Deformace u SMA materiálů je velmi závislá na teplotě. Ale není potřeba měnit napětí. Napětí je stále na stejné úrovni v době transformací deformace [13]. Superelastická deformační křivka s hystezí je znázorněna na obrázku číslo 7.



Obr. č. 7 Superelastická deformační křivka [13].

2.4. Ostatní vlastnosti NiTinolu [11]

Teplota tavení (°C)	1310
Hustota ($\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$)	6,45
Tepelná vodivost ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	10 - 18
Pevnost v tahu (MPa)	700 - 1000
Rozsah transformačních teplot (K)	173 - 383
Hystereze (K)	30
Počet tepelných cyklů	100 000
Maximální teplota ohřevu (°C)	400
Korozní odolnost	výborná
Biologická kompatibilita	výborná

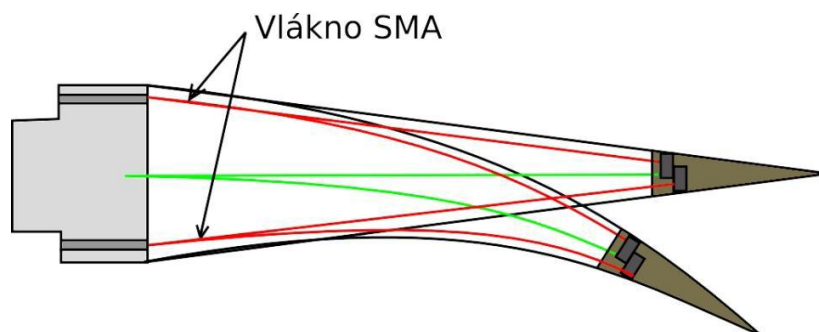
2.5. Použití paměťových materiálů

2.5.1. NiTinol v leteckém průmyslu

První uplatnění slitiny Niklu a Titanu je právě v leteckém průmyslu. V roce 1969 byl NiTinol použit při výrobě vojenského letounu Grumman F-14 Tomcat. NiTinol zde byl použit jako spoj v hydraulickém potrubí. Tím jak se zvyšovala teplota oleje v potrubí, tak se těsnost spoje zvyšovala. U běžných kovů doposavad používaných to bylo přesně naopak. A od roku 1969 se materiály s tvarovou pamětí začaly hojně využívat i jinde. To nám dokazuje počet patentů přihlášených od toho to roku 1969. V roce 1999 počet patentů dosáhl 10 000 [4].

V leteckém průmyslu se s SMA vlákny nesetkáváme, pouze u letounu Grumman F-14 Tomcat, ale v současnosti firmy Boeing a DEPRa se zabývají dalším využitím SMA materiálů v ovládání klapek letadla. Ovládání letadel úzce souvisí s ovládáním vztlakových klapek. Používají se hydraulické systémy, ale ty jsou dost těžké a proto se je vývojáři snaží odlehčit. SMA vlákna by mohla pomoci ve změně tvaru klapky. Jedno spodní vlákno se vlivem elektrického proudu zkrátí a horní vlákno se prodlouží. Tím se docílí změny tvaru křídla. Takto upravené křídlo potřebuje jen SMA vlákna a elektrický proud, tím se docílí

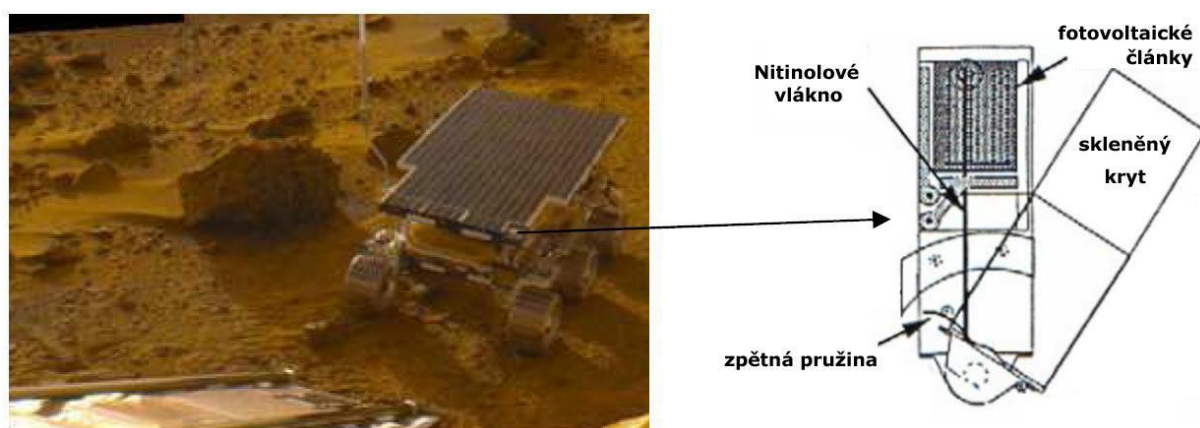
značného odlehčení křídla. Na obrázku číslo 8. Je naznačen pracovní postup SMA vláken [4].



Obr. č. 8 Ovládání tvaru vlákny SMA [4].

2.5.2. Vesmírné vozítko Sojourner

Konstruktérům z NASA také pomohly výborné vlastnosti NiTinu při konstrukci vozítka Sojourner. V roce 1997 přistálo na Marsu vozítko jménem Sojourner a prozkoumávalo terén. Vozítko bylo napájeno solárními články, které byly opatřeny skleněným krytem. Skleněný kryt byl denně zanesen vesmírným prachem a solární články se tak nemohly nabíjet, a proto konstruktéři z NASA použili SMA materiál pro ovládání skleněného krytu. Elektricky vytápěný 3cm NiTi drát snížil svoji délku o 5% a pomocí vratné pružiny se skleněný kryt odklonil [5]. Na obrázku číslo 9 je vyobrazen pracovní postup odklání skleněného krytu nad fotovoltaickými články.



Obr. č. 9 Použití SMA materiálu u vozítka Sojourner [4].

2.5.3. NiTinol v medicíně

MUDr. Morris Simon byl první s nápadem použít NiTinol v medicíně. Nejen že NiTinol má tvarovou paměť, ale je i biokompatibilní. Biokompatibilita znamená schopnost

organismu přijímat tento nový materiál. Samotný Nikl je sice pro lidské tělo velice nebezpečný, jelikož je vysoce toxický. Naopak titan je prvek, který lidské tělo velmi dobře přijímá. Nezpůsobuje alergie, záněty, atd. Titan na povrchu NiTinolu vytvoří vrstvu, která zabraňuje v unikání toxických látek z Niklu do lidského těla. Díky těmto vlastnostem se MUDr. Morris Simon domníval, že když se v dolní duté žíle zavede košíček z NiTinolu, tak se zde zachytí krevní sraženiny a tělo se vyhne tak nemoci zvané: „plicní embolie“. Košíček z NiTinolu se zavede do žíly pomocí katetru v rovném stavu. Díky teplotě lidského těla se košíček rozevře a nepropustí tak krevní sraženiny, které se časem rozpustí. Díky tomu, že se košíček rozevře tak zůstává na svém místě a neputuje žilou dál. Na obrázku číslo 10 je vidět filtr zvaný Angioguard [6].



Obr. č. 10 Filtr Angioguard [7].

NiTiNol má v medicíně velké uplatnění, dalším pomocníkem jsou stenty. Vkládají se do zúžených cév a tím je roztahují. Stent se vyrobí do požadovaného tvaru, poté se malinko deformuje a pomocí katetru je vložen do cévy v lidském těle. Opět pomocí lidské teploty se stent roztáhne do svého původního tvaru a tak drží cévu roztaženou a umožní krevní průtok. Cévní stenty se používají poměrně dlouho, novinkou je jícnový stent, ten se používá u pacientů s rakovinou jícnu.

Nikl je feromagnetický a Titan naopak paramagnetický. Díky tomu, že ve slitině je na povrchu Titan je celá slitina NiTiNol paramagnetická. To představuje velkou výhodu od ocelových stentů. Neprojevují se během vyšetření pomocí magnetické rezonance [8]. Ukázku chirurgických stentů najdeme na obrázku číslo 11.



Obr. č. 11 Chirurgické stenty [7].

Další využití NiTinu v medicíně bylo nalezeno v léčbě zlomenin. Používají se NiTinolové svorky, které se přiloží na zlomenou kost a zahřejí se. Svorka, která je zahřátá je v nataženém tvaru a přiložena na zlomeninu se časem ochlazuje a způsobí tak změnu tvaru svorky (svorka se zmenší, stáhne) a tím drží zlomenou kost pohromadě. Zrychluje se tím rekonvalescence pacienta.

Ortopedické pomůcky jako jsou rovnátka, lze také vyrobit z NiTinu. Opět usnadňuje práci a urychluje uzdravení pacienta. Ve výsledku pacient méně trpí a uzdraví se rychleji [8].

2.5.4. Budoucnost NiTinu

NiTinol nás obklopuje již v mnoha nástrojích, přístrojích a podobně. Není to ale vše. Vědci a výzkumná zařízení stále pracují na spousty nových vynálezů, kde by nám NiTinol usnadnil práci. NiTinol se začíná například objevovat v pantech u zahradních skleníků. Tak by se okénka skleníku otevřela vždy, kdyby bylo dostatečné teplo [26].

Ventil v kávovaru se otevře při dosažení požadované teploty a pustí horkou vodu k zrnkům kávy.

NiTinolové brýlové obroučky. A co takhle košile, která by se sama vyžehlila díky lidskému teplu [26].

Za několik pár let se budeme s NiTinolem setkávat mnohem častěji a dostane se do našich běžných životů a život bez něj si nebudeme umět představit.

2.6. Použité stroje a zařízení

2.6.1. Tavná pistol

Tavnou pistol jsem použila při povrstvování NiTinolu a to na roztavení termoplastu. Tavná pistol, kterou jsem použila já, je vyrobena a prodávána firmou Extol. Název neboli označení pistole prodejcem je GG 180 E. Má široké uplatnění při různých opravách, montážích, připevňování, utěsnění a lepení. Lepení se dá použít na různé materiály, jako jsou například plasty, kůže, keramika, karton, dřevo a kovy. Parametry této pistole jsou: 180W, teplota lepení 220°C, doba aktivace 3 – 5 minut [15].



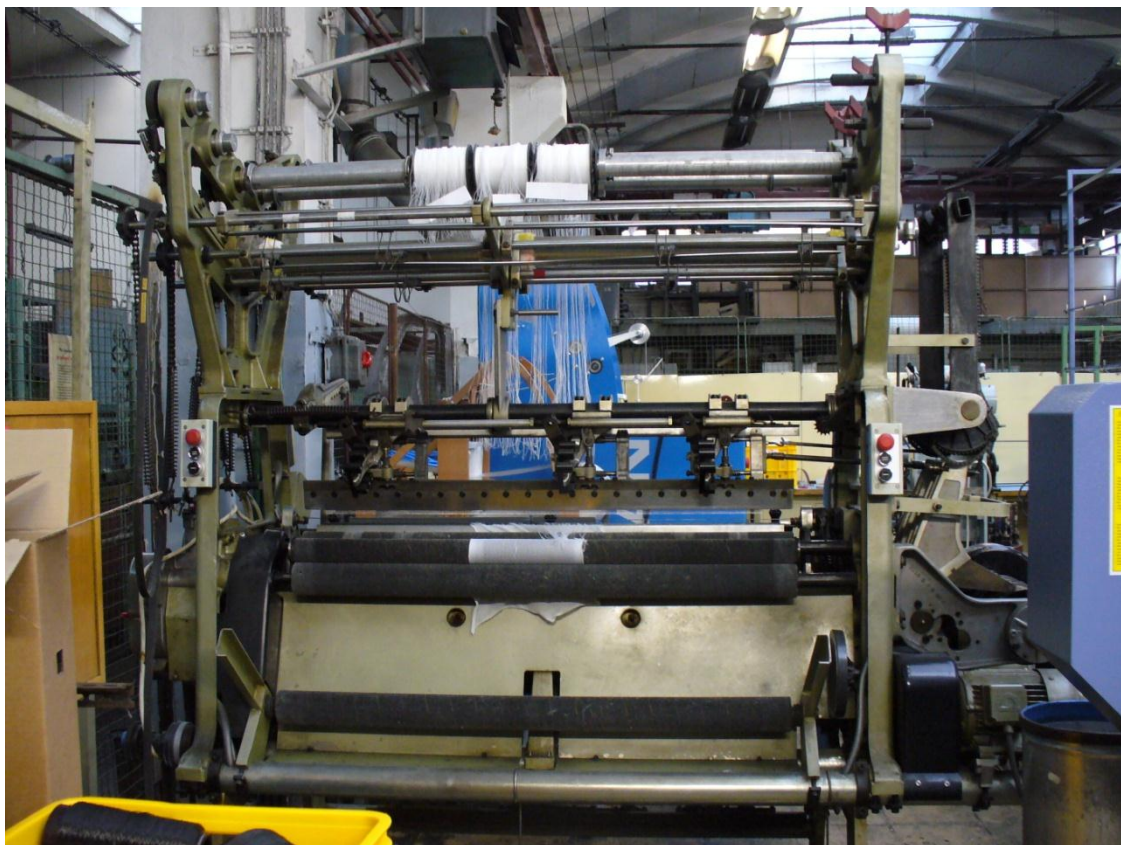
Obr. č. 12 Tavná pistol od firmy Extol [15].

2.6.2. Osnovní pletací stroj Rašl

Osnovní pletací stroje používají buď jehly jazýčkové, nebo drážkové. Jehly se samostatně nepohybují. Pohybuje se celé jehelní lůžko i s jehlami. Nit se na jehly naklade pomocí kladecího přístroje s kladecími jehlami. U osnovní pleteniny se tvoří pletenina pomocí řádků a ne sloupků. Po utvoření řádku se pletenina odtáhne pomocí odtahovacích válečků, mezi které je přivedena. K pletacímu stroji Rašl se dala přidat přidavná zařízení na pomoc vzorování pleteniny. Dnes se vyrábějí Rašly speciální vždy pro jeden druh pleteniny. Pletací rašlové stroje se dělí do 3 skupin [16]:

1. Rychloběžné – pro velkosériovou výrobu [16].
2. Speciální – pro výrobu záclon, koberců, krajek [16].
3. Univerzální – zde se dá vyrábět více výrobků, má více vzorovacích schopností [16].

Rašlové stroje se dále dělí podle počtu lůžek a to na jednolůžkové (standardní, víceúčelové, se srážecím plechem, na výrobu elastických výrobků, krajek nebo záclon), a dvoulůžkové (standardní, na plyšové pleteniny a duté pleteniny) [16]. Osnovní pletací stroj Rašl najdeme na obrázku číslo 13.



Obr. č. 13 Osnovní pletací stroj Rašl

Označení rašlového stroje, který jsem použila je RML 6 F, 12E. Kde F znamená: osnovní pletací stroj Rašl se srážecím plechem a označení 6 - znamená počet kladečních přístrojů. Tento rašlový pletací stroj je od firmy KARL MAYER.

2.6.3. Tahové i tlakové zařízení

2.6.3.1. Instron

Toto zařízení je využíváno k měření mechanických vlastností. Dají se zde měřit jak délkové textilie, tak i plošné textilie. Namáhání probíhá na jedné ose. Na přístroji Instron se dá materiál namáhat tlakem, tahem i v ohybu. V mém případě jsem na přístroji Instron použila cyklické namáhání v tahu. Instron umožňuje různé upínací délky. Instron

umožňuje naměřit pevnost přízí různých materiálů a různého typu zpracování. Instron také automaticky upíná příze za předpokladu krátké upínací délky. Dále umožňuje stlačování netkaných textilií a měření tření délkových textilních materiálů [14]. Instron je vyobrazen na obrázku číslo 14.

Příslušné parametry přístroje Instron [14]:

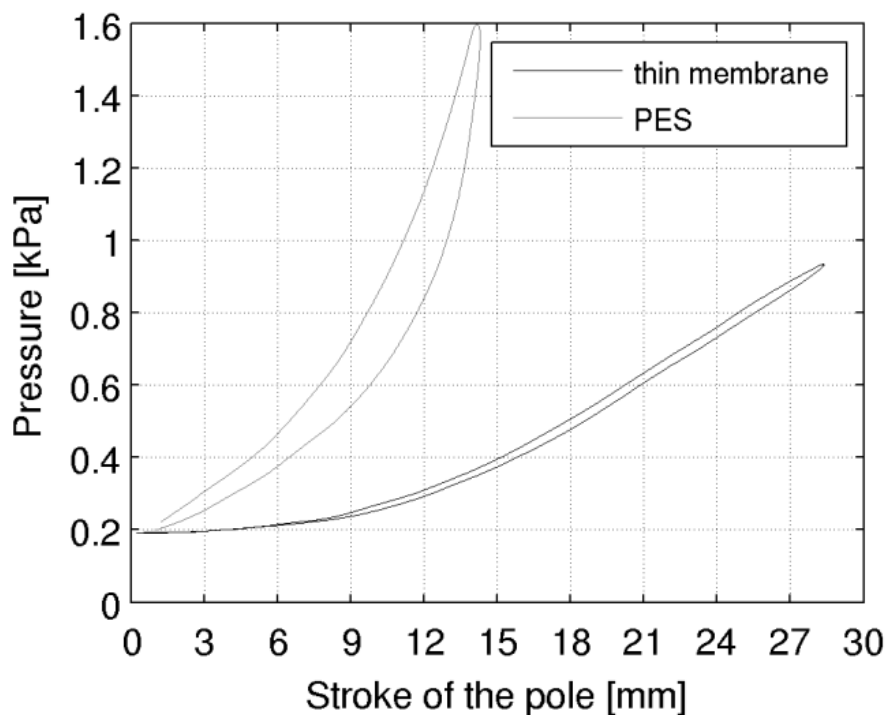
- Číslicový řídicí systém pohonu s možností měnit rychlost.
- Elektronický sběr dat.
- Display s daty v reálném čase s možností volby jednotek: SI, metrické, ...
- Rychlost přičníku: 0,5mm/min až 500mm/min
- Maximální dráha přičníku 1067mm, šířka pracovního prostoru 250mm



Obr. č. 14 Přístroj Instron

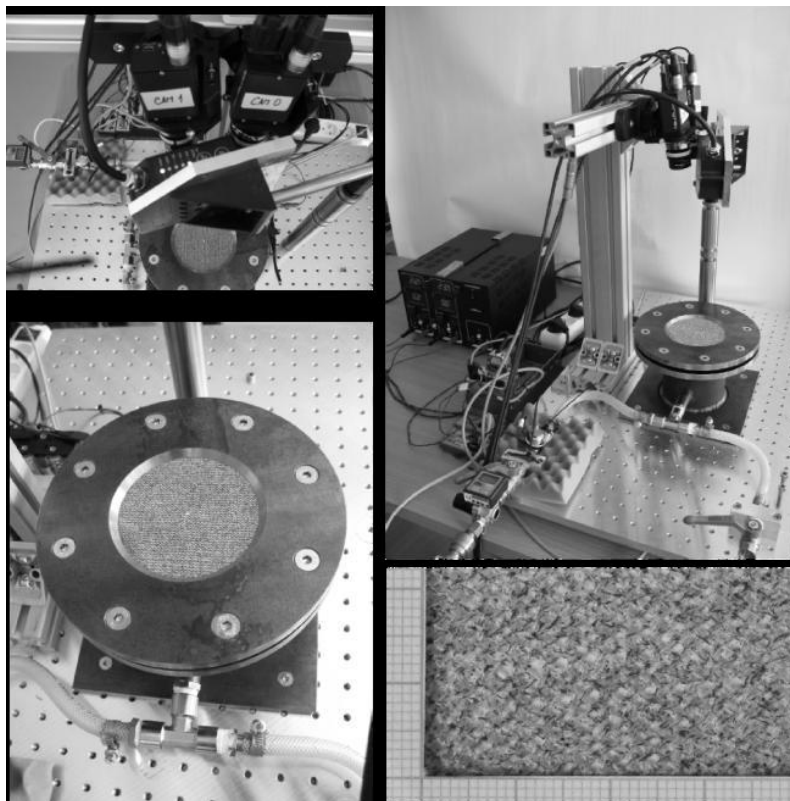
2.6.3.2. Bulge tester

Na přístroji Bulge se testují nové funkční textilie. Při provádění testů na bulge testeru je vzorek textilie upevněn v kruhovém upínací. Pod testovanou textilií je tenká membrána. A to kvůli velkým pórům v pletenině. Zkreslení je nepatrné, což je vidět na obrázku číslo 16, kde jsou porovnány naměřené hodnoty samotné membrány a osnovní pleteniny podložené membránou [17].



Obr. č. 15 Porovnání výsledku na bulge testeru samotné membrány a osnovní pletenina podložené membránou, na ose x je znázorněné protažení v mm a na ose y je znázorněné zatížení v kPa [17].

Při zvyšujícím se tlaku na membránu se zkoumaná textilie vyboulí. Zaznamenává se zvyšování tlaku na textili, deformace vzorku a posun textilie. To je zaznamenáno dvěma kamerami přidělanými na přístroji. Digitální kamery zaznamenávají deformaci vzorku při zatížení materiálu. Ze zaznamenaných fotografií při různém zatížení vzorku je vypočítána korelace. Na obrázku číslo 17 je znázorněn bulge tester a jeho součásti [17].



Obr. č. 16 Bulge tester [17].

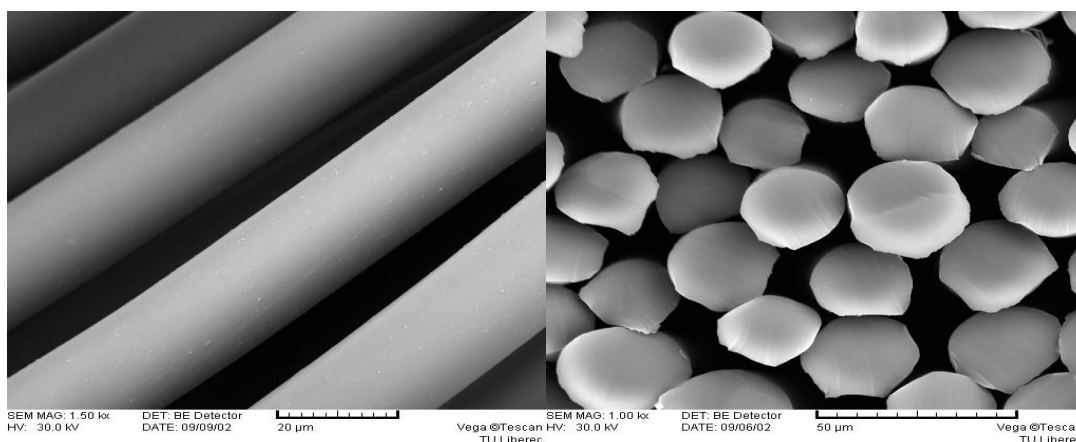
2.7. Použité materiály

2.7.1. Polyester

V našem případě byl použit na výrobu pleteniny polyesterový multifil o jemnosti 38tex. Příze je ze 100% polyesteru. Polyesterové vlákno vzniká chemickou cestou, není přírodního původu a řadí se do syntetických vláken. Polyesterové vlákno vzniká při chemické reakci, při tzv. polykondenzaci. Ze dvou komponent je vyroben polykondenzát, který se dále zvlákňuje a dluží. Po této operaci následuje shromáždění buď do kabelu, nebo se stříhá na stříž. Polyesterová vlákna jsou tužší než vlákna jiná chemického původu. Polyesterová vlákna se nejčastěji směsují s bavlnou nebo vlnou. Sorpční vlastnosti u polyesteru jsou dosti špatné a po fyziologické stránce je nevhodný na oděvy, který se dotýká lidské pokožky. Proto se nejčastěji používá jako obleková tkanina. Mezi další negativní vlastnosti polyesterových vláken například patří fibrilace. To je roztřepení konců vláken a dochází tak, k následnému žmolkování na povrchu tkaniny. Také na polyesterových vláknech vzniká elektrostatický náboj a snadno tak přitahuje prach. Jelikož tato vlákna patří k nejrozšířenějším vláknům chemickým, tak jejich vývoj vedl k vyvinutí různých profilů zvlákňovacích trysek. Tím vlákna dostala nové vlastnosti podobné přírodním vláknům. Zvětšil se jejich povrch a tak se zvýšila absorpce [23].

Vlastnosti polyesterových vláken[25]:

- Hustota: 1390 kg/m^3
- Bod měknutí: $230 - 250^\circ\text{C}$
- Teplota tání: $250 - 285^\circ\text{C}$
- Bez poškození snese teplotu do 200°C
- Nejdříve po zahřátí se taví a pak až hoří.
- Při hoření vzniká nasládlý aromatický zápach.
- Kyselému prostředí odolává.
- Silné zásadité prostředí vlákna poškozuje.
- V rozpouštědlech jsou vlákna stálá.



Obr. č. 17 Polyesterové vlákno v podélném a příčném řezu [18].

2.7.2. Termoplast

Termoplast byl použit na povrstvení NiTinolového drátku. Termoplast byl ve formě tavné tyčinky jako náplň do tavné pistole. Náplň neboli tavná transportní tyčinka má označení 9903 a její rozměry jsou $7,2 \times 100 \text{ mm}$. Stejně jako tavná pistole jsou tavné tyčinky od firmy Extol. Tavná tyčinka je polyetylen. Bod měknutí má 88°C , doba tvrdnutí 15 –

20minut, viskozitu má při 170°C 8500mPa.s a rozsah teplot které polyetylen vydrží je - 50°C až 80°C [15].



Obr. č. 18 Tavicí termoplastické tyčinky firmy Extol [15].

3. EPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1. Povrstvení NiTinolového drátku termoplastem

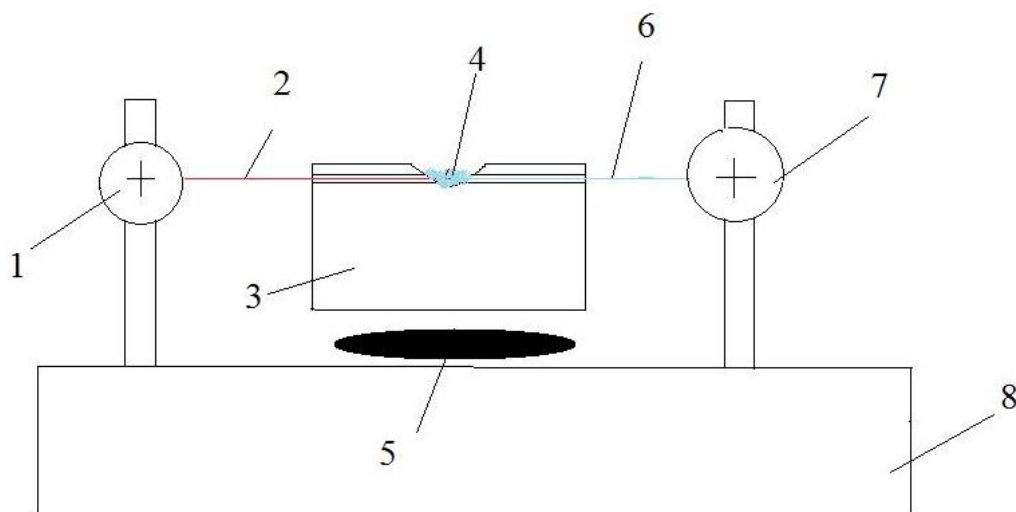
NiTinol

V této práci je použit NiTinol o průměru 75 mikronů. Zakoupen je od společnosti Fort Wayne Metals s.r.o. Nitinol je ve stavu tzv. přímém žíhání. Jemnost nepovrstveného NiTinolového drátku je 28,82 tex a jemnost povrstveného NiTinolového drátku je 65,19 tex.

Nejdříve je vysvětleno, proč se NiTinolový drátek vůbec povrstvoval. První pokusy a testy byly provedeny v na pletenině s vloženým útkem v podobě NiTi drátku bez povrstvení termoplastem. Následné testování ukázalo nevhodné vložení útku v podobě NiTi drátku.

Při prvním testu byl vzorek pleteniny s vloženým útkem upevněn do kruhového upínače a to tak, že na kruhovou podložku se položí testovaný vzorek a na něj se položí další kruhová podložka. Tyto podložky jsou k sobě upevněny několika šrouby. Takto upevněný testovaný vzorek byl podroben testování. V mém případě se stalo, že z upevněných krajů pleteniny začaly vypadávat konce NiTinelu. Tím byl test znehodnocen a jeho výsledky nám neřekly to, co jsme očekávali. Proto jsme museli NiTinolový drátek v pletenině nějak upevnit. Upevnit tak, aby NiTinol neztratil své superelastické vlastnosti.

NiTinol navinutý na cívce byl navlečen na odvíjecí zařízení. V mém případě byla použita prostá tyčka, na které byla cívka navléknuta a samovolně se odvíjela. Odvíjela se samovolně proto, že na druhé straně, kde se již povrstvený NiTinol navíjel, bylo využito malého motorku, který otáčel s navlečenou cívkou a tím se jak povrstvený NiTinol navíjet, tak se i na druhé straně odvíjel nepovrstvený NiTinol. Mezi odvíjením a navíjením byl vložen kovový hranol. V hranolu je vyfrézována výduť a přes celou délku hranolu je vyfrézován otvor, který vede přes výduť. Otvorem hranolu byl provlečen NiTinolový drátek. Celý kovový hranol byl položen na vyhřáté plotýnce. Do výduti byl vždy po potřebných intervalech vytlačen roztavený termoplast. Roztavený termoplast byl vytlačován z tavicí pistole, viz kapitola 2.6. NiTinol byl protahován po celé délce hranolu i přes roztavený termoplast. Kovový hranol byl zahřát proto, aby termoplast zůstal v tekuté formě. Než NiTinolový drátek prošel od termoplastu k navíjecí cívce, stihl termoplast na NiTinolu ztuhnout. Schéma navíjecího zařízení je vyobrazeno na obrázku číslo 21.



Obr. č. 19 Schéma nanášení termoplastu na NiTinol.

- 1 – Cívka s nepovrstveným NiTi drátkem na odvíjecím zařízení.
- 2 – Nepovrstvený NiTi drátek.
- 3 – Kovový hranol.
- 4 – Roztavený termoplast.
- 5 – Zahřátá plotýnka.

6 – Povrstvený NiTi drátek termoplastem.

7 – Navíjecí zařízení.

8 – Stůl.

3.2. Porovnání dat z přístroje Instron

Na přístroji Instron jsme NiTinol podrobily cyklickému namáhání. Pro test byl použit NiTinol o průměru 75 mikronů.



Obr. č. 20 Upínací zařízení přístroje Instron [20].

Nejdříve byl testován NiTinol o jemnosti 28,82tex při síle 0,144N. Dalšímu testu byl podroben NiTinol, který byl povrstven slabou vrstvou termoplastu o jemnosti 65,19tex při síle 0,328N. Nepovrstvený NiTinol je označen jako NiTi1 a povrstvený NiTinol je označen jako NiTi2. Při měření na přístroji Instron bylo v místnosti 24°C s 40% vlhkostí. Upínací délka u NiTi1 i u NiTi2 byla 500mm. U NiTi1 i u NiTi2 se vyhotovilo 6 měření. Rychlost měření byla 300mm/min a 30mm/min. Při těchto rychlostech se měnila velikost prodloužení.

a) 50mm → 10%

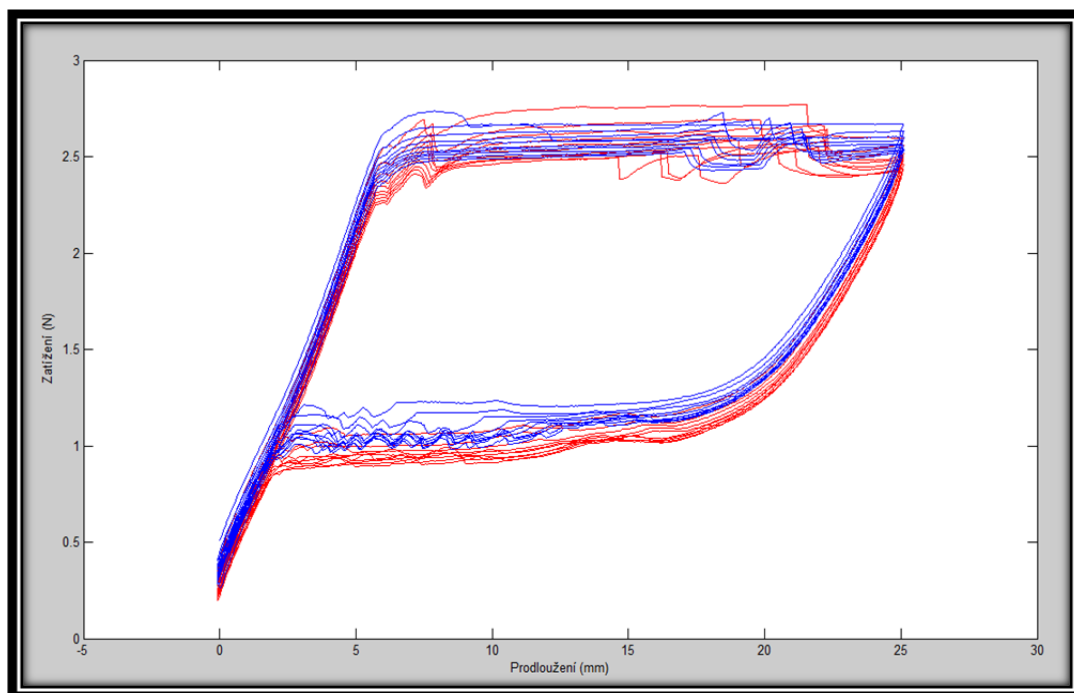
b) 37,5mm \rightarrow 7,5%

c) 25mm \rightarrow 5%

Naměřené hodnoty jsou vyobrazeny v grafech, viz příloha. Na grafech s NiTi1 je patrné superelastické chování tak, jak je popsáno v odborné literatuře. Na grafech je také patrná hysterezní křivka. Dá se tedy říci, že NiTinol o průměru 75mikrotů má superelastické chování. Na superelasticitu nemá vliv délka prodloužení ani rychlost namáhání. To vše je patrné z grafů viz příloha.

Pro uskutečnění výroby pleteniny s vloženým útkem v podobě NiTinolového drátku bylo potřeba NiTinolový drátek povrstvit tenkou vrstvou termoplastu. Proto byly provedeny stejné testy cyklického namáhání jak s NiTi1, tak i s NiTi2. Opět se měření provedlo dvěma rychlostmi 300mm/min a 30mm/min a různými délkami prodloužení. Výsledky jsou znázorněny na grafech, viz příloha.

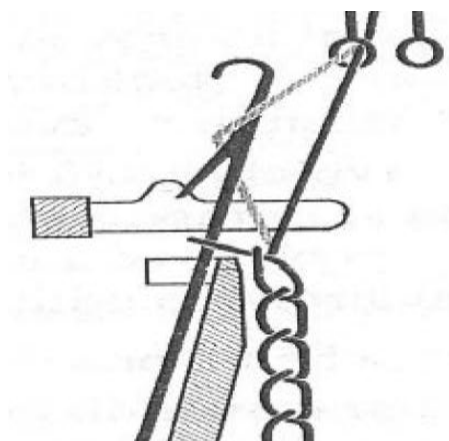
Na grafech s NiTi2 je vidět, že povrstvení termoplastem na chování NiTinolu nemá vliv. Opět je patrná superelasticitu. To potvrzuje obrázek číslo 21, který ukazuje nepovrstvený a povrstvený NiTinol. Červenou barvou ukazuje NiTi1 (nepovrstvený NiTinol) při rychlosti 30mm/min s délkou protažení 5% a modrou barvou NiTi2 (povrstvený NiTinol) při rychlosti 30mm/min s délkou protažení 5%.



Obr. č. 21 Porovnání NiTi1 + NiTi2 na přístroji Instron při rychlosti 30mm/min s délkou prodloužení 5%.

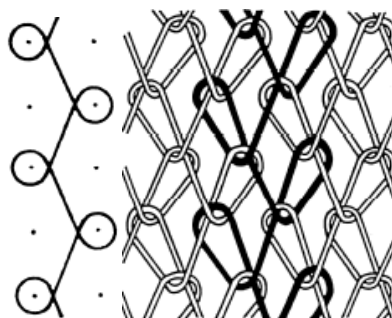
3.3. Příprava vzorku pleteniny s vloženým útkem v podobě NiTi drátku

Pletenina se připravovala na již zmíněném rašlovém pletacím stroji, viz kapitola 2.6. Pro výrobu byl použit polyesterový multifil o jemnosti 38tex. Vyrobená pletenina je ve vazbě uzavřeného trikotu s Hř 800ř/10cm a Hs 500s/10cm. Trikotová vazba patří mezi základní osnovní vazby. Vazba je tvořena střídavým kladením (střídavě na dvě jehly), viz obrázek číslo 22. V jednolící trikotové vazbě je sloupek tvořen ze dvou nití sousedních. Trikotová vazba je jedna z nejjednodušších osnovních vazeb. Ze všech osnovních vazeb má nejkratší spojovací kličku[21].



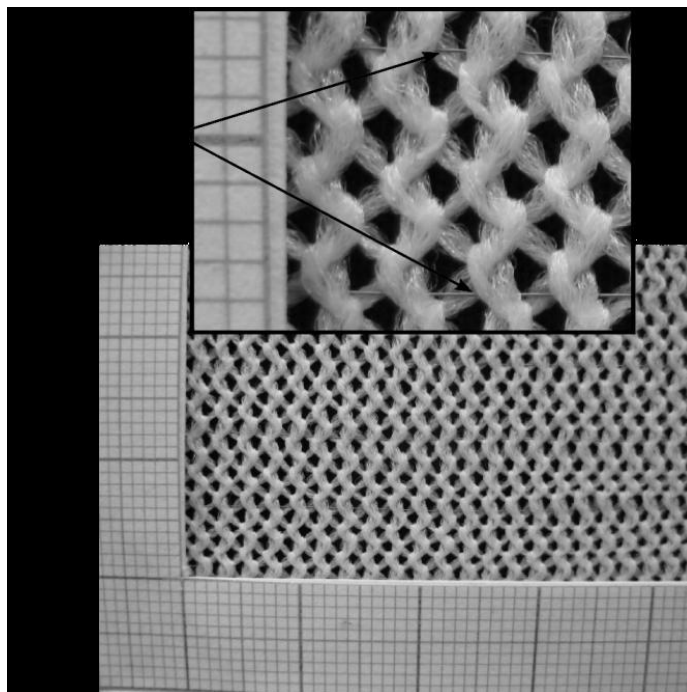
Obr. č. 22 Jednolůžkový pletací stroj Rašl [22].

Trikotová vazba se používá na vrchní ošacení, dámské spodní prádlo, najdeme ho také v bytovém textilu například potah na sedací soupravě. Ale také se využívá jako technická textilie, nebo pro sítky na ovoce a zeleninu. Trikotová vazba, viz obrázek číslo 23.



Obr. č. 23 Trikotová vazba uzavřená [22].

Povrstvený NiTi drátek byl vložen v podobě útku do každého pátého řádku trikotové pleteniny během pletení na Rašlovém pletacím stroji, což je patrné z obrázku číslo 24.



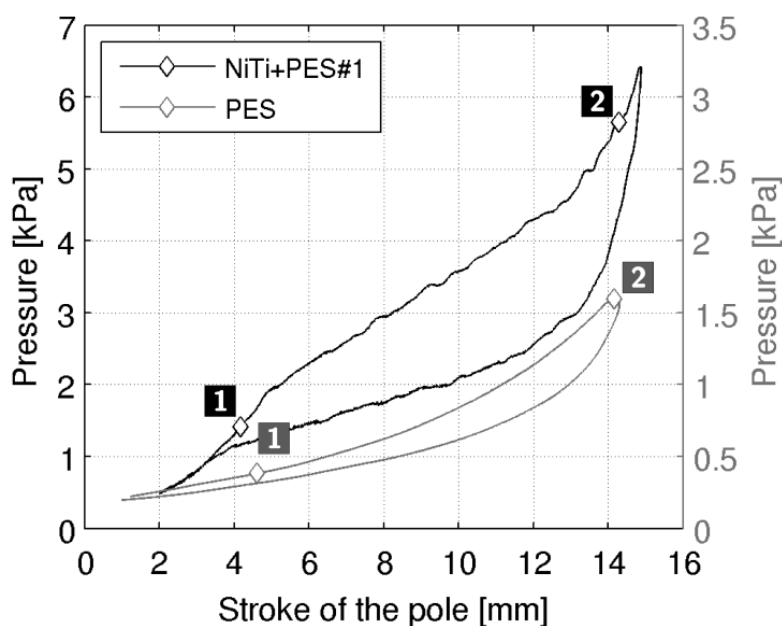
Obr. č. 24 Trikotová pletenina s vloženým útkem v podobě povrstveného NiTi drátku termoplastem [17].

Takto vyrobená pletenina byla dále potřeba zafixovat a to proto, aby NiTi drátek v pletenině dobře držel. Proto se NiTi drátek povrstvil termoplastem. Termoplast byl potřeba zahřát do tekuté formy, aby se zachytil na polyesterových vláknech a zafixoval tak NiTi drátek v pletenině.

Zafixování bylo realizováno pomocí tepla a tlaku. Na zafixování byla použita žehlička zahřátá na 120°C. Na vytvořenou pleteninu s vloženým NiTi drátkem se položil alobal a přes alobal se pletenina vyžehlila. Tím se termoplastický povrch nanesený na NiTi drátkách roztavil a přilepil se tak k polyesterovým vláknům pleteniny. Po této operaci se pletenina nechala dostatečně dlouho zchladnout. Tím opět termoplastický povrch dostal pevného skupenství a NiTi drátek v pletenině dostatečně dobře zafixoval.

3.4. Testování na bulge testeru

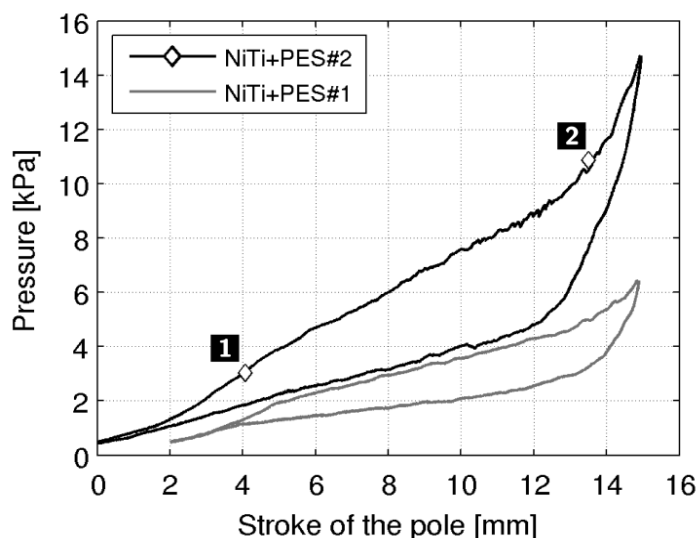
Na bulge testeru se pletenina testovala ve třech provedeních. Vzorek první je označen PES, tj. samotná pletenina bez NiTi vláken. Pod označením NiTi+PES 1 se skrývá jedna vrstva pleteniny s NiTi vlákny. Ta jsou vložena ve směru útku, jak je již zmíněno výše. Po vložení vzorku do Bulge testeru, zde bylo 16 NiTi vláken, v kruhovém upínači o průměru 100mm. Třetí testovaný vzorek je nazván NiTi+PES 2. Tento vzorek se skládá ze dvou vzorků pleteniny s NiTi vlákny. Vzájemně jsou tyto vzorky otočeny o 90°. Tím byla NiTi vlákna ve dvou kolmých směrech. Během těchto zkoušek, byly vzorky pleteniny vystaveny tlaku, jak je již popsáno v kapitole 2.5.4. Je potřeba zmínit, že testování proběhlo za normální pokojové teploty cca 24°C. Jak je vidět na obrázku číslo 25, kde je tlaku podroben vzorek PES a NiTi+PES 1. Z obrázku 26 je také patrné, že pletenina zdědí typické vlastnosti NiTi drátku a to nelineární hysterezní chování.



Obr. č. 25 Porovnání PES vzorku a NiTi+PES 1 na Bulge testeru. Po stranách je zaznamenán zvyšující se tlak a na vodorovné ose je znázorněno prodloužení [17].

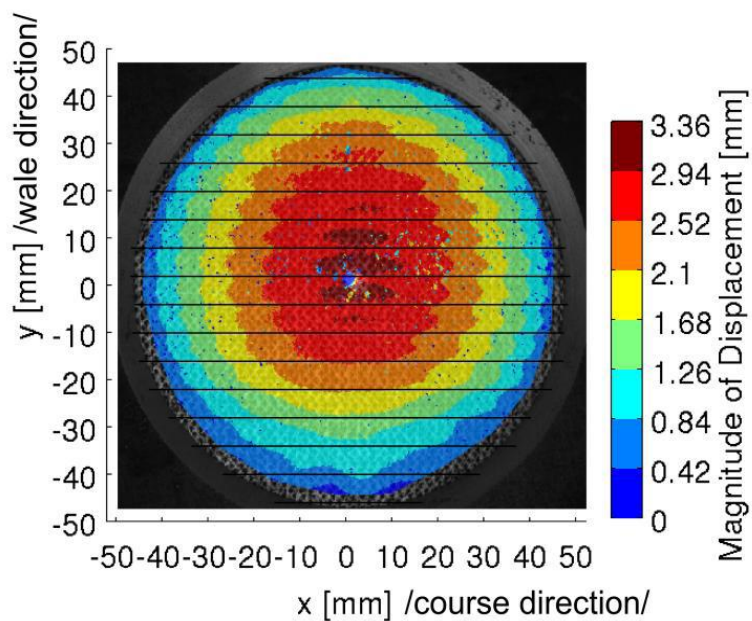
Další test byl proveden se vzorky NiTi+PES 1 a NiTi+PES 2. Při tomto testu vykazují vzorky mnohem větší tuhost. Tlak působící na pleteninu s NiTi vlákny, způsobil 15mm vyboulení. Aby se samotná pletenina PES vyboučila při testování o 15mm, stačilo působením menšího tlaku než na pleteninu s NiTi vlákny. Tento stejný jev je vyobrazen na obrázku číslo 26, kde je testovaná pletenina NiTi+PES 1 a NiTi+PES 2. Jak bylo již

zmíněno vzorek NiTi+PES 2 je mnohem tužší a tak se na tuto pleteninu musel vyvinout větší tlak než na vzorek NiTi+PES 1, aby se vyboulil o 15mm.

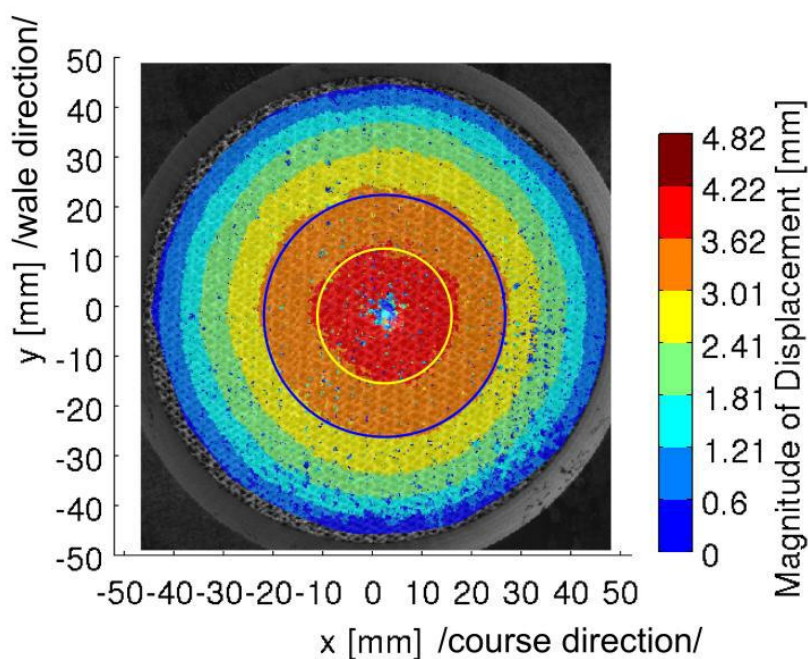


Obr. č. 26 Porovnání vzorků NiTi+PES 1 a NiTi+PES 2 na Bulge testeru. Porovnání působícího tlaku a 15mm vyboulení. Na ose x je znázorněno protažení a na ose y je znázorněn působící tlak na pleteninu [17].

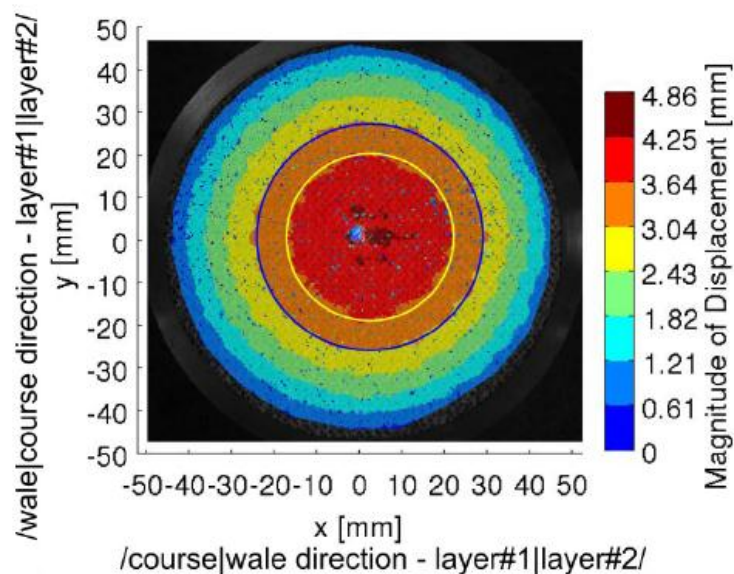
V následujících obrázcích je sledována izotropie vlastností. Izotropie znamená, že zkoumaná vlastnost se chová ve všech směrech stejně. Na Bulge testeru se zkoumal posun bodů na povrchu pleteniny. Body, které byly zkoumány na pletenině, se vytvořily rozprášením kapiček tekutiny po povrchu pleteniny. Tím, jak se pletenina vyboulila zvyšujícím se tlakem, se body na povrchu pleteniny posunovaly. A to je znázorněno na následujících obrázcích. Míra posunutí sledovaných bodů není na všech místech vzorku stejná. Míra posunutí bodů byla sledována při dvou různých tlacích. Viz výše obrázek číslo 25 a 26. Proto se zde mluví o menším a větším zatížení. Obrázek číslo 27 je velmi nehomogenní, a to za použití menšího zatížení. Zvlnění je nejspíše způsobeno NiTi vlákny jen v jednom směru [17].



Obr. č. 27 Velikost posunutí na Bulge testeru na vzorku NiTi+PES 1. Na obrázku jsou znázorněna místa, kde se vyskytuje NiTi vlákno. Na osách je znázorněné posunutí v mm [17].

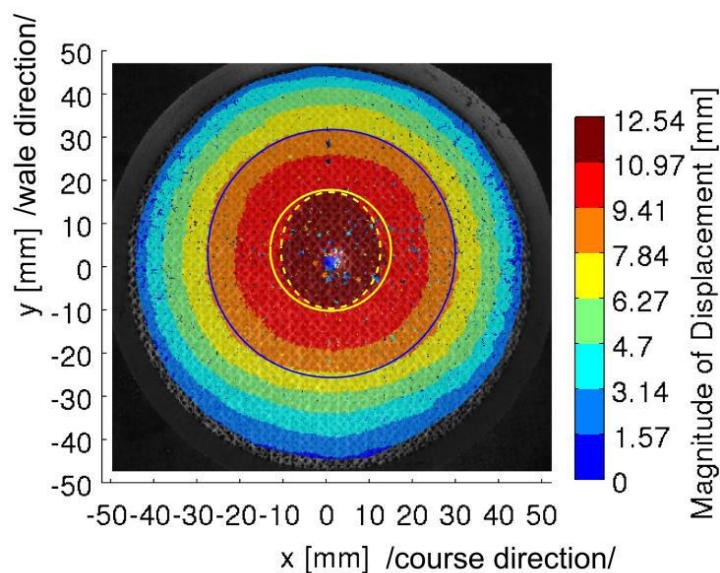


Obr. č. 28 Velikost posunutí na Bulge testeru na vzorku PES se znázorněnými izoliniemi. Na osách je znázorněné posunutí v mm [17].

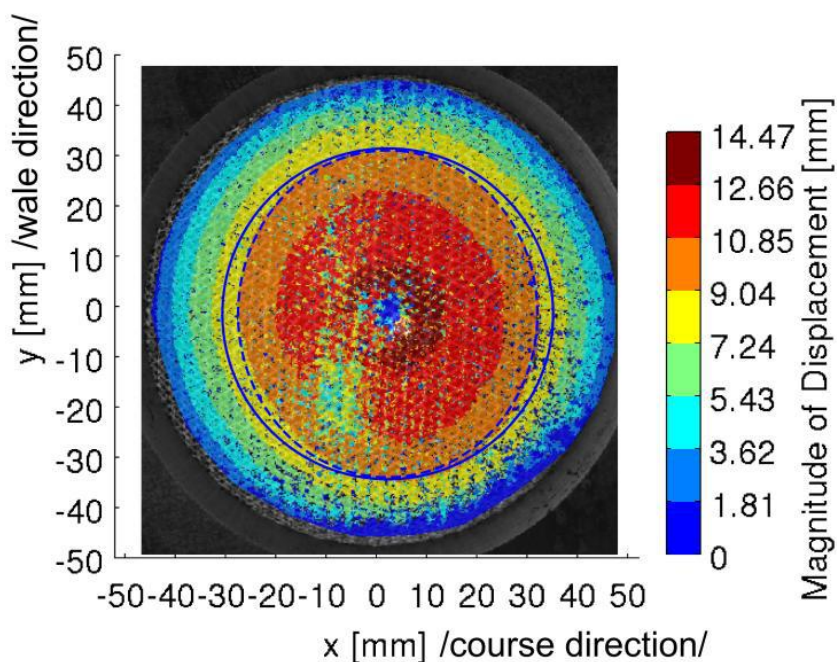


Obr. č. 29 Velikost posunutí na Bulge testeru na vzorku NiTi+PES 2 se znázorněnými izoliniemi. Na osách je znázorněné posunutí v mm [17].

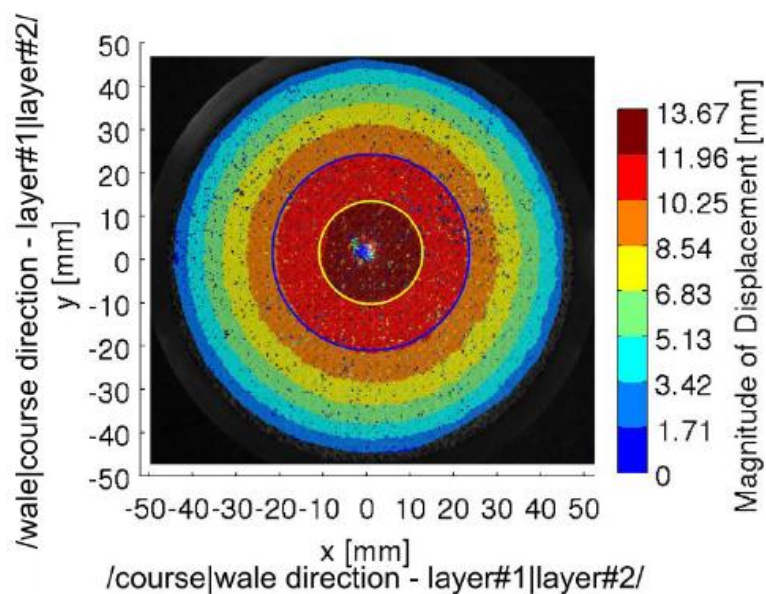
Při zvyšování tlaku na pleteninu má zkoumaný vzorek lepší izotropii posunutí. Ale jeho izolinie stále nejsou tak dokonalé jak je zapotřebí. Na obrázku číslo 30 je znázorněné posunutí bodů na vzorku NiTi+PES 1 při vyšším zatížení.



Obr. č. 30 Velikost posunutí na Bulge testeru na vzorku NiTi+PES 1 se znázorněnými izoliniemi. Na osách je znázorněné posunutí v mm [17].



Obr. č. 31 Velikost posunutí na Bulge testeru na vzorku PES se znázorněnými izoliniemi. Na osách je znázorněné posunutí v mm [17].

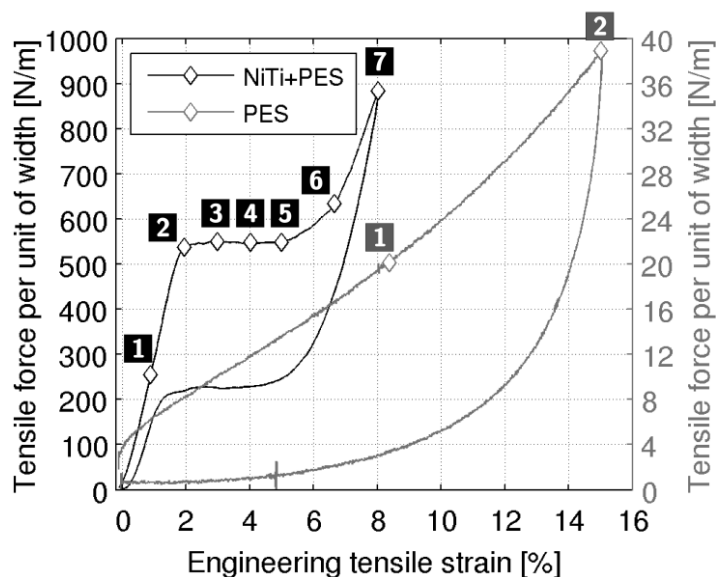


Obr. č. 32 Velikost posunutí na Bulge testeru na vzorku NiTi+PES 2 se znázorněnými izoliniemi. Na osách je znázorněné posunutí v mm [17].

Na obrázku číslo 32 je vidět, že vyšší tlak a NiTi vlákna ve dvou směrech stačí, aby výsledek posunutí bodů byl izotropní.

3.5. Při jednoosém tahovém namáhání

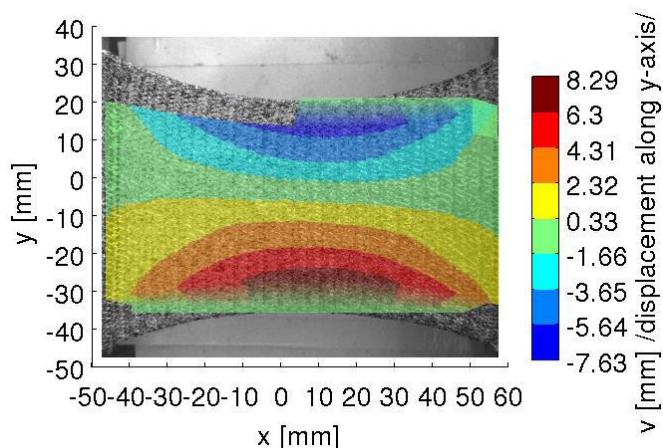
Při tomto testu obsahoval vzorek pleteniny 26 NiTi vláken. Namáhání probíhalo ve směru útku, tedy ve směru NiTi vláken. Následující obrázek číslo 33 ukazuje rozdílnou pevnost samotné pleteniny a pleteniny s vloženým útkem v podobě NiTi vlákna [17].



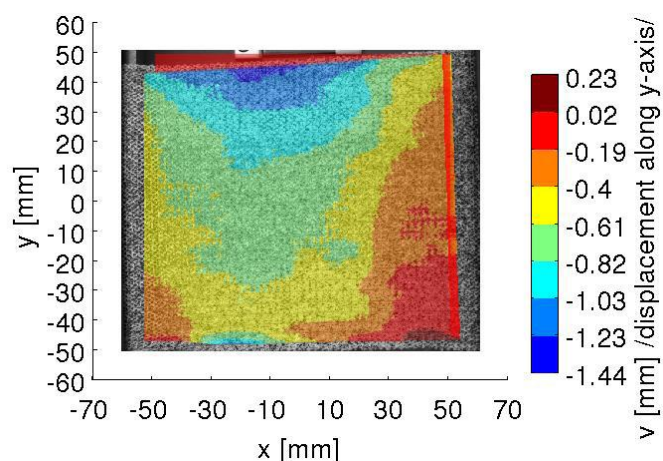
Obr. č. 33 Tahová křivka z jednoosého tahového přístroje. Porovnání pevnosti vzorku PES a NiTi+PES 1. Číselné značky představují okamžiky, při kterých byl naměřen prostorový posun. Na ose x je znázorněné prodloužení v % a na zbývajících osách je znázorněný tlak v N [17].

Jak je vidět z obrázku číslo 33 pletenina díky vloženému NiTi drátku dostala jeho vlastnosti, jak již bylo zmíněno. Je také velmi patrná tuhost vzorku NiTi+PES 1 na rozdíl od samotné pleteniny [17].

Na následujících obrázcích je sledovaná tažnost na jednoosém tahovém přístroji. Měření bylo opět sledováno kamerou přidělanou na přístroji. Kamera zachytila obraz, ze kterého byly vytvořeny následující obrázky, viz obrázky níže číslo 34 a 35 [17].



Obr. č. 34 Namáhání ve směru útku samotné pleteniny označené PES. Na osách je znázorněno protažení v mm. Vzorek je zatížen velikostí viz graf č. 10 [17].



Obr. č. 35 Namáhání ve směru útku vzorku s označením NiTi+PES 1. Na osách je znázorněné protažení v mm. Vzorek je zatížen velikostí viz graf č. 10 [17].

3.6. Diskuse výsledků

Z naměřených dat na bulge testeru a trhacím přístroji a následně vytvořených obrázků lze posoudit, že pletenina opravdu převzala unikátní vlastnosti vloženého NiTi drátku. Důležité je zmínit, že nestačí, aby NiTi vlákno bylo jen v jednom směru. Z obrázku číslo 29 a 31 je vidět, že lepší vlastnosti má vzorek označený NiTi+PES 2. Kde je NiTi vlákno ve dvou směrech, tedy ve směru útku i ve směru osnovy. Zde je shrnutí mechanických vlastností takto navržené pleteniny s NiTi vlákny:

- Pletenina zdědí nelineární hysterezní chování typické pro NiTi vlákno.
- Vykazuje mnohem větší tuhost v tahu na rozdíl od samotné pleteniny bez NiTi vlákna.

- Deformační chování při cyklickém namáhání je vzorek pleteniny s NiTi vlákny mnohem stabilní než pletenina bez NiTi vlákna.
- U vzorku s NiTi vlákny ve dvou směrech je patrná izotropie vlastností.

4. ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout takový způsob začlenění NiTi vlákna do pleteniny, aby neztratil své unikátní vlastnosti, ale právě naopak, aby tyto vlastnosti převzala od NiTi vlákna pletenina.

Pro výrobu pleteniny byl zvolen 100% polyester, tedy syntetický multifil o jemnosti 38tex. Vyrobená pletenina je osnovní pletenina s vazbou uzavřený trikot. Výroba osnovní pleteniny proběhla na osnovním pletacím stroji Rašl. Při samotné výrobě pleteniny byl do každého 5 řádku vložen NiTi drátek. Ovšem jak je popsáno v této práci, NiTi drátek se nejprve musel povrstvit termoplastem a poté v pletenině zafixovat tak, aby z pleteniny nevypadával díky svému hladkému povrchu. Takto připravená pletenina s vloženým útkem v podobě NiTi drátku, byla nachystána k ověření mechanických vlastností.

Nejprve se testoval samotný NiTi drátek cyklickým namáháním a to proto, aby se potvrdily jeho unikátní vlastnosti popsané v odborné literatuře. Tyto vlastnosti jako je superelastická, hystereze a další se díky cyklickému namáhání na přístroji Instron potvrdily. Lze tedy říci, že předložená slitina Niklu a Titanu je materiál s tvarovou pamětí, a je superelastický. Tyto závěry nám mohlo překazit povrstvení termoplastem. Proto povrstvený NiTinol byl znovu vystaven cyklickému namáhání na přístroji Instron. Naštěstí se to nepotvrdilo. Je tedy jasné, že termoplast na NiTinolu nemá žádný vliv na jeho mechanické vlastnosti.

Dále bylo zjišťováno chování pleteniny s vloženým NiTinolovým vláknem. Toto chování bylo ověřováno na jednoosém tahovém zařízení a na bulge testeru. Bylo provedeno určité množství testů s několika vzorky. Vzorky byly tři. Byla to samotná polyesterová pletenina, dále to byla pletenina s vloženým útkem v podobě NiTi drátku a jako třetí vzorek byly dvě pleteniny s NiTi vlákny položené na sobě tak, aby NiTi vlákna byly jak ve směru útku, tak i ve směru osnovy. Všechny tyto tři vzorky byly testovány na bulge testeru. Samotná pletenina a pletenina s NiTi vláknem v jednom směru byly podrobeny jednoosému namáhání. Výsledkem je zjištění, že pletenina opravdu převzala unikátní vlastnosti NiTi drátku. Nejlepší izotropii vlastností má vzorek pleteniny, kde byl NiTinol ve dvou vzájemně kolmých směrech.

Závěrem se dá říci, že takto připravená pletenina má superelastické vlastnosti.

Ted' záleží na dalším vývoji funkčních textilií a možná nebude dlouho trvat a NiTinol bude součástí běžných oděvů, nebo napomůže v technických textiliích.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. č. 1 Změna tvaru polymerního materiálu v závislosti na teplotě a času [3].	12
Obr. č. 2 Krystalová struktura NiTinolu, atomy Niklu a Titanu se mění ve směru úhlopříčky krychle (vlevo), krystalická změna martenzitické deformace (vpravo) [13].	13
Obr. č. 3 Martenzitická transformace [10].	13
Obr. č. 4 Hysterezní křivka [4].	15
Obr. č. 5 Tvarová paměť v závislosti na napětí a tahu [13].	16
Obr. č. 6 Superelastická v závislosti na teplotě a napětí [4].	17
Obr. č. 7 Superelastická deformační křivka [13].	17
Obr. č. 8 Ovládání tvaru vlákn SMA [4].	19
Obr. č. 9 Použití SMA materiálu u vozítka Sojourner [4].	19
Obr. č. 10 Filtr Angioguard [7].	20
Obr. č. 11 Chirurgické stenty [7].	21
Obr. č. 12 Tavná pistol od firmy Extol [15].	22
Obr. č. 13 Osnovní pletací stroj Rašl.	23
Obr. č. 14 Přístroj Instron	24
Obr. č. 15 Porovnání výsledku na bulge testeru samotné membrány a osnovní pletenina podložené membránou, na ose x je znázorněné protažení v mm a na ose y je znázorněné zatížení v kPa [17].	25
Obr. č. 16 Bulge tester [17].	26
Obr. č. 17 Polyesterové vlákno v podélném a příčném řezu [18].	27
Obr. č. 18 Tavící termoplastické tyčinky firmy Extol [15].	28
Obr. č. 19 Schéma nanášení termoplastu na NiTinol.	29
Obr. č. 20 Upínací zařízení přístroje Instron [20].	30

Obr. č. 21 Porovnání NiTi1 + NiTi2 na přístroji Instron při rychlosti 30mm/min s délkou prodloužení 5%.....	31
Obr. č. 22 Jednolůžkový pletací stroj Rašl [22].	32
Obr. č. 23 Trikotová vazba uzavřená [22].	32
Obr. č. 24 Trikotová pletenina s vloženým útkem v podobě povrstveného NiTi drátku termoplastem [17].....	33
Obr. č. 25 Porovnání PES vzorku a NiTi+PES 1 na Bulge testeru. Po stranách je zaznamenán zvyšující se tlak a na vodorovné ose je znázorněno prodloužení [17].....	34
Obr. č. 26 Porovnání vzorků NiTi+PES 1 a NiTi+PES 2 na Bulge testeru. Porovnání působícího tlaku a 15mm vyboulení. Na ose x je znázorněno protažení a na ose y je znázorněn působící tlak na pleteninu [17].	35
Obr. č. 27 Velikost posunutí na Bulge testeru na vzorku NiTi+PES 1. Na obrázku jsou znázorněna místa, kde se vyskytuje NiTi vlákno. Na osách je znázorněné posunutí v mm [17].	36
Obr. č. 28 Velikost posunutí na Bulge testeru na vzorku PES se znázorněnými izoliniemi. Na osách je znázorněné posunutí v mm [17].....	36
Obr. č. 29 Velikost posunutí na Bulge testeru na vzorku NiTi+PES 2 se znázorněnými izoliniemi. Na osách je znázorněné posunutí v mm [17].	37
Obr. č. 30 Velikost posunutí na Bulge testeru na vzorku NiTi+PES 1 se znázorněnými izoliniemi. Na osách je znázorněné posunutí v mm [17].	37
Obr. č. 31 Velikost posunutí na Bulge testeru na vzorku PES se znázorněnými izoliniemi. Na osách je znázorněné posunutí v mm [17].....	38
Obr. č. 32 Velikost posunutí na Bulge testeru na vzorku NiTi+PES 2 se znázorněnými izoliniemi. Na osách je znázorněné posunutí v mm [17].	38
Obr. č. 33 Tahová křivka z jednoosého tahového přístroje. Porovnání pevnosti vzorku PES a NiTi+PES 1. Číselné značky představují okamžiky, při kterých byl naměřen prostorový posun. Na ose x je znázorněné prodloužení v % a na zbývajících osách je znázorněný tlak v N [17].....	39
Obr. č. 34 Namáhání ve směru útku samotné pleteniny označené PES. Na osách je znázorněno protažení v mm. Vzorek je zatížen velikostí viz graf č. 10 [17].	40
Obr. č. 35 Namáhání ve směru útku vzorku s označením NiTi+PES 1. Na osách je znázorněné protažení v mm. Vzorek je zatížen velikostí viz graf č. 10 [17].	40

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] NOVÁK, V., Inermetalika a jevy tvarové paměti, Fyzikální ústav Akademie věd ČR, dostupné dne: 5. 10. 2011 <http://archiv.otevrena-veda.cz/users/Image/default/C2Seminare/MultiObSem/003.pdf>
- [2] Dostupné dne: 6. 10. 2011, http://cs.wikipedia.org/wiki/Slitiny_s_tvarovou_pam%C4%9Bt%C3%AD
- [3] MILITKÝ, J.: Vysoce funkční textilie pro technické aplikace, výzkumná studie, 2009, Technická univerzita v Liberci, fakulta Textilní
- [4] Dostupné dne: 9. 10. 2011, http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=29683
- [5] Dostupné dne: 10. 10. 2011, <http://mrsec.wisc.edu/Edetc/background/memmetal/index.html>
- [6] Dr. SIMON, M., dostupné dne: 10. 10. 2011, <http://radiology.rsna.org/content/236/3/1114.full>
- [7] Dostupné dne: 10. 10. 2011, http://ateam.zcu.cz/download/nikl-titan-09_10.pdf
- [8] Dostupné dne: 10. 10. 2011, http://translate.google.cz/translate?hl=cs&sl=en&u=http://www.wisegeek.com/what-is-a-nitinolstent.htm&ei=SuqSTpvVKoLl4QT4wJmJAQ&sa=X&oi=translate&ct=result&resnum=7&ved=0CGwQ7gEwBjgK&prev=/search%3Fq%3Dstenty%2Bz%2Bnitinolu%26start%3D10%26hl%3Dcs%26sa%3DN%26rlz%3D1C1PRFA_enCZ435CZ435%26biw%3D1280%26bih%3D685%26prmd%3Dimvnsb
- [9] Firma: Bohdan Bolzano s.r.o., Charakteristika jednotlivých skupin korozivzdorných ocelí, dostupné dne: 21. 10. 2011, http://www.ateam.zcu.cz/charakteristika_korozivzdornych_oceli2.pdf
- [10] Dostupné dne: 23. 10. 2011, <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Transformace.png>
- [11] KURSA, M., PACHOLEK, P., LOSEROVÁ, M., Charakteristika a vlastnosti paměťových materiálů na bázi NiTi a možnosti jejich modifikace, Hradec nad Moravicí, 2004, dostupné dne: 23. 10. 2011, <http://www.nanocon.cz/data/metal2004/sbornik/papers/174.pdf>

- [12] KLUSÁK, O., Vysoké technické učení v Brně, Bakalářská práce, Biokompatibilní materiály na bázi kovů a jejich využití, 2010, dostupné dne: 23. 10. 2011, http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=30257
- [13] NOVÁK, V., ŠITTNER, P. Materiály s tvarovou pamětí, Praha: Fyzikální ustav AVČR, dostupné dne: 23. 10. 2011, http://department.fzu.cz/ofm/sma/brana_cz/
- [14] Katedra textilních technologií, Technická univerzita v Liberci, fakulta Textilní, dostupné dne: 2. 11. 2011, http://www.ktt.tul.cz/?page=pristroje&action=detail&nextaction=view&id_pristroje=2
- [15] Firma Extol, dostupné dne: 2. 11. 2011, <http://www.extol.cz/pr8266-pistole-tavna-lepici-180w-gg-180-e>
- [16] Dostupné dne: 2. 11. 2011, <http://www.skolertextilu.cz/pleteni/index.php?page=26>
- [17] JANOUCHOVÁ, K., VYŠANSKÁ, M., HELLER, L., Functional Warp Knitted Fabrics with Integrated Superelastic NiTi Filaments, 2011, Technická univerzita v Liberci, fakulta Textilní
- [18] OČERETNÁ, L. Zboží znalství 1 : Syntetická vlákna, 2009, Přednáška. Technická univerzita v Liberci, fakulta Textilní
- [19] Firma: Fort Wyne Materials s.r.o., dostupné dne: 17. 11. 2011, <http://www.fwmetals.com/round-wire.php>
- [20] Firma Instron, http://www.instron.com/wa/home/default_generic.aspx, dostupné dne: 19. 11. 2011
- [21] Vazby osnovní, dostupné dne: 20. 11. 2011, <http://www.skolertextilu.cz/pleteniny/index.php?page=17>
- [22] KOVÁŘ, R., Teorie tvorby plošných textilií, Stroje a technologie osnovního pletení, Osnovní vazby, 2008, přednáška, Technická univerzita v Liberci, fakulta Textilní
- [23] STANĚK, J. Textilní zbožíznalství. Vyd. 1., Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2002. 84 s. ISBN 80-7083-555-9.
- [24] Dostupné dne: 23. 11. 2011, <http://www.studuj-jinak.cz/referaty/nahled/04b-typy-vazez-v-tuhych-latkach>
- [25] Dostupné dne: 9. 12. 2011, <http://www.elastiko.cz/nase-nabidka/polyestery>

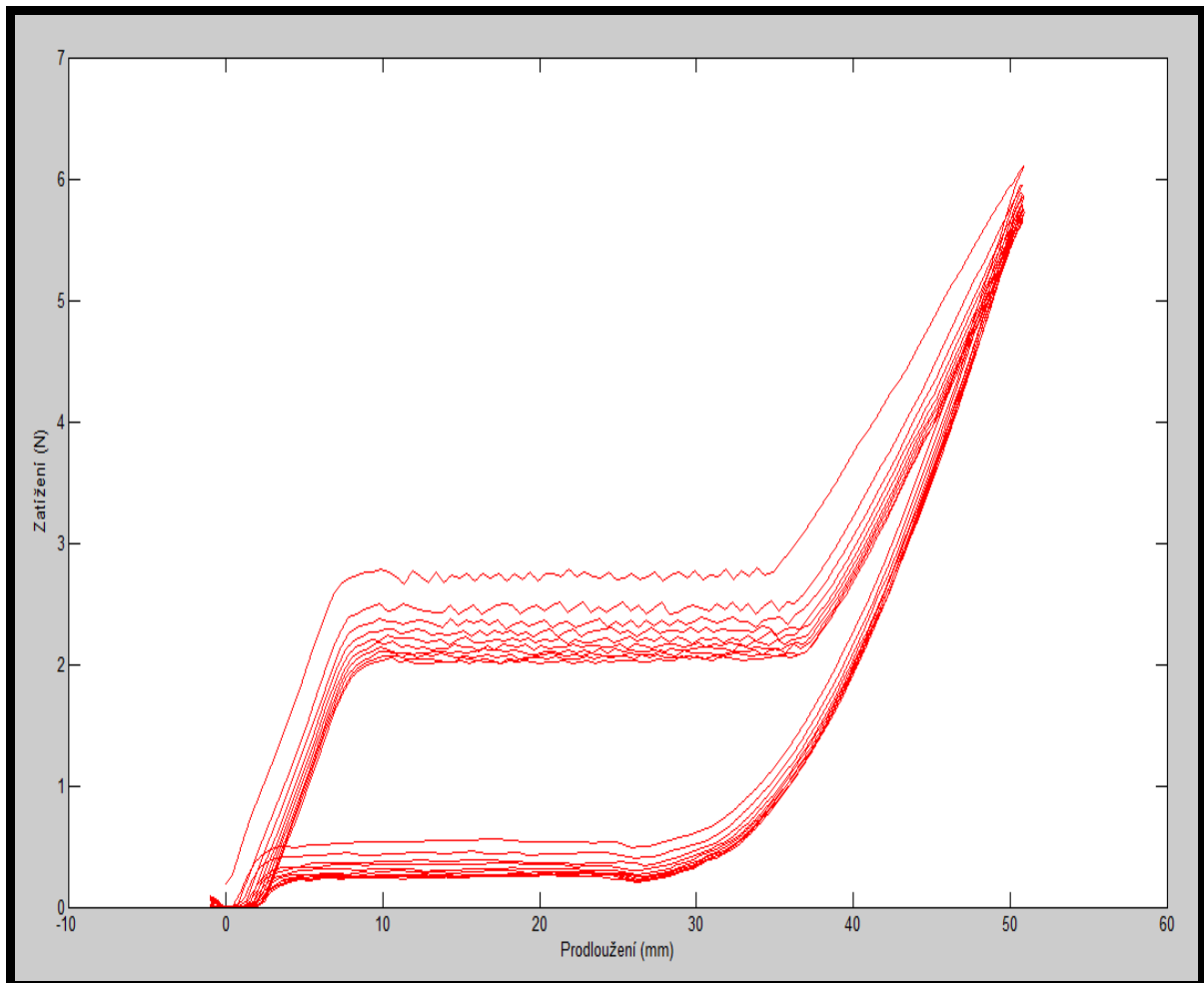
[26] MAYO, I., KAUFFMAN, G. B. *The story of Nitinol: The serendipitous discovery of the memory metal and its applications*. Springer-Verlag New York, INC. 1996. Vol. 2, No. 2. ISSN 1430-4171

PŘÍLOHA

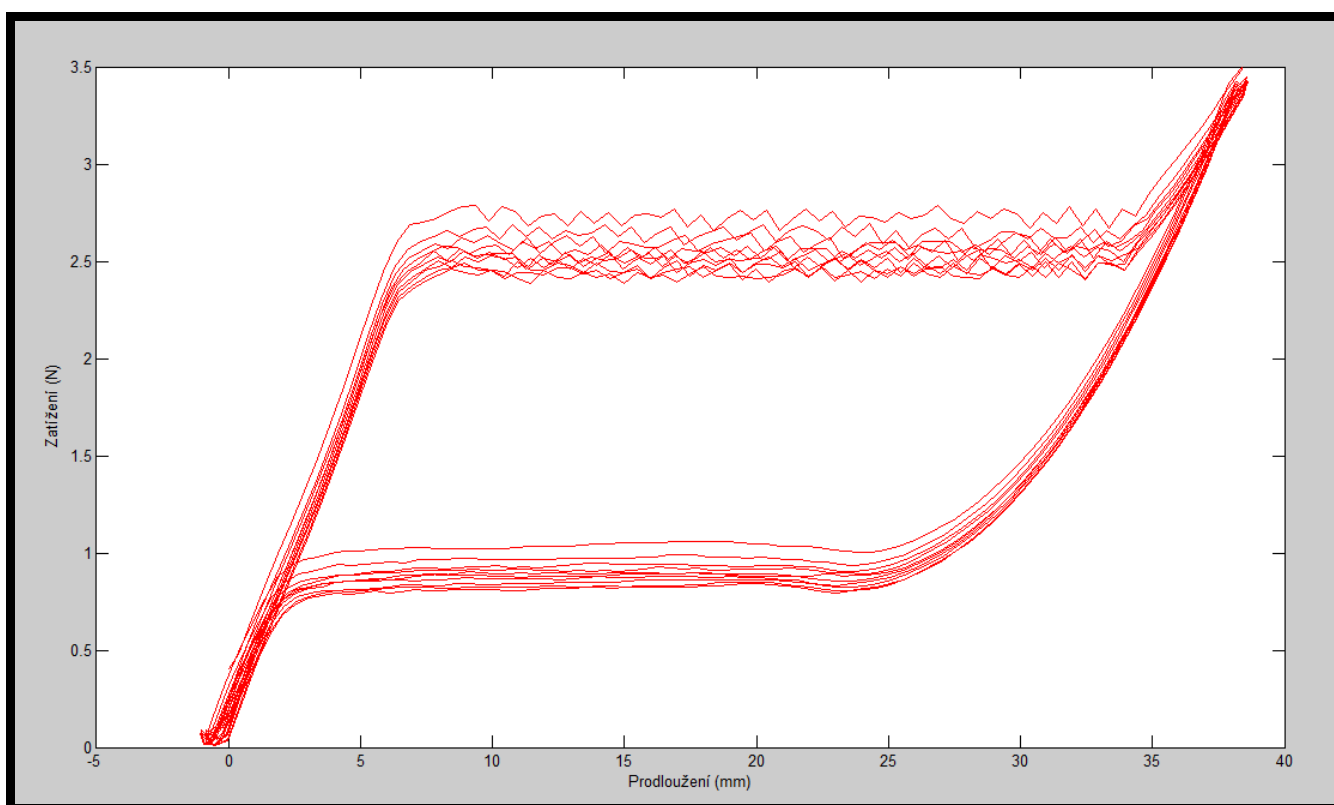
Nepovrstvený NiTinol

300mm/min

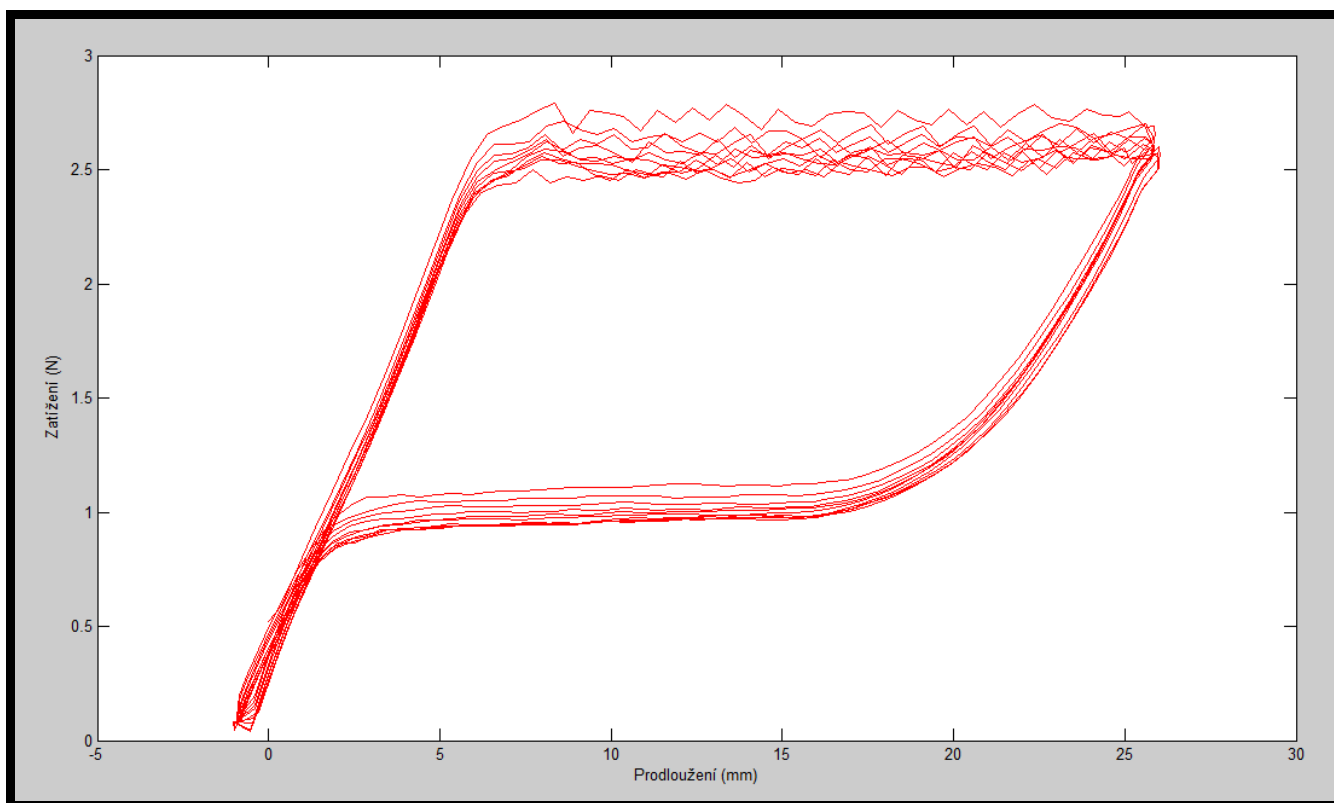
10% prodloužení



7,5% prodloužení

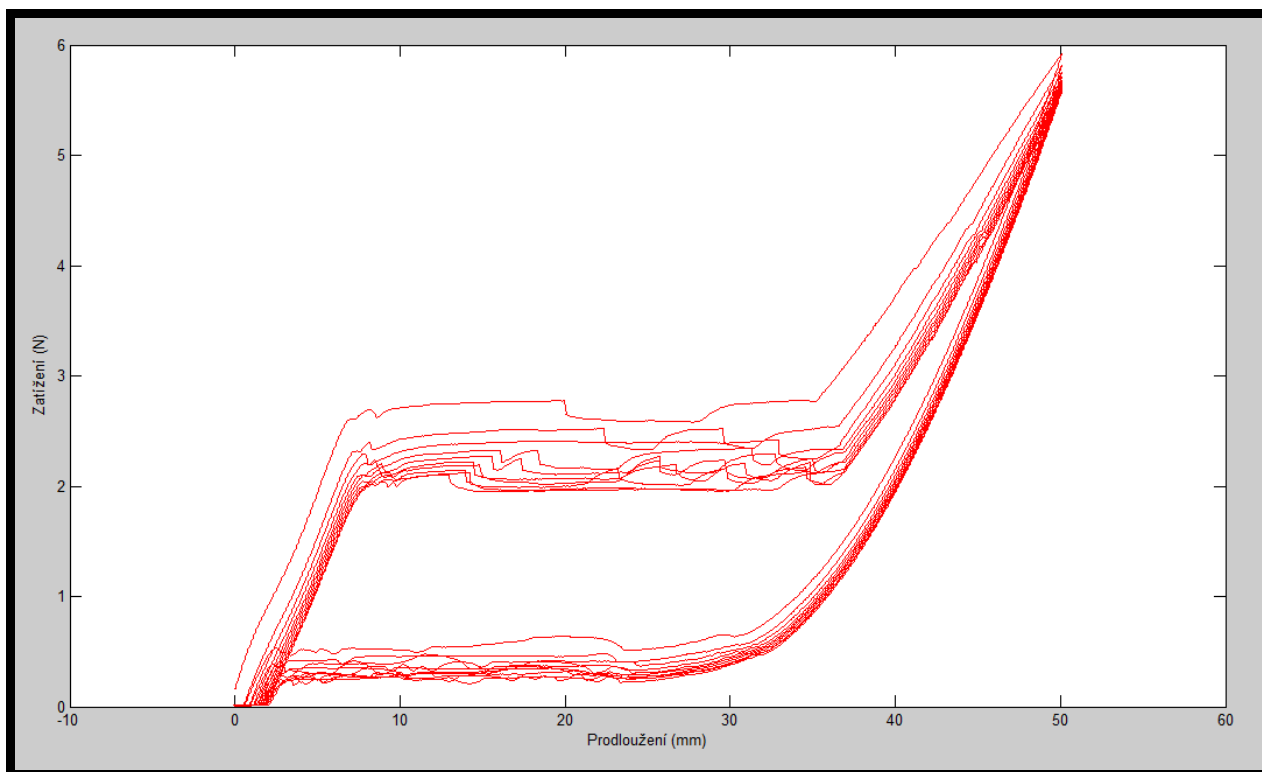


5% prodloužení

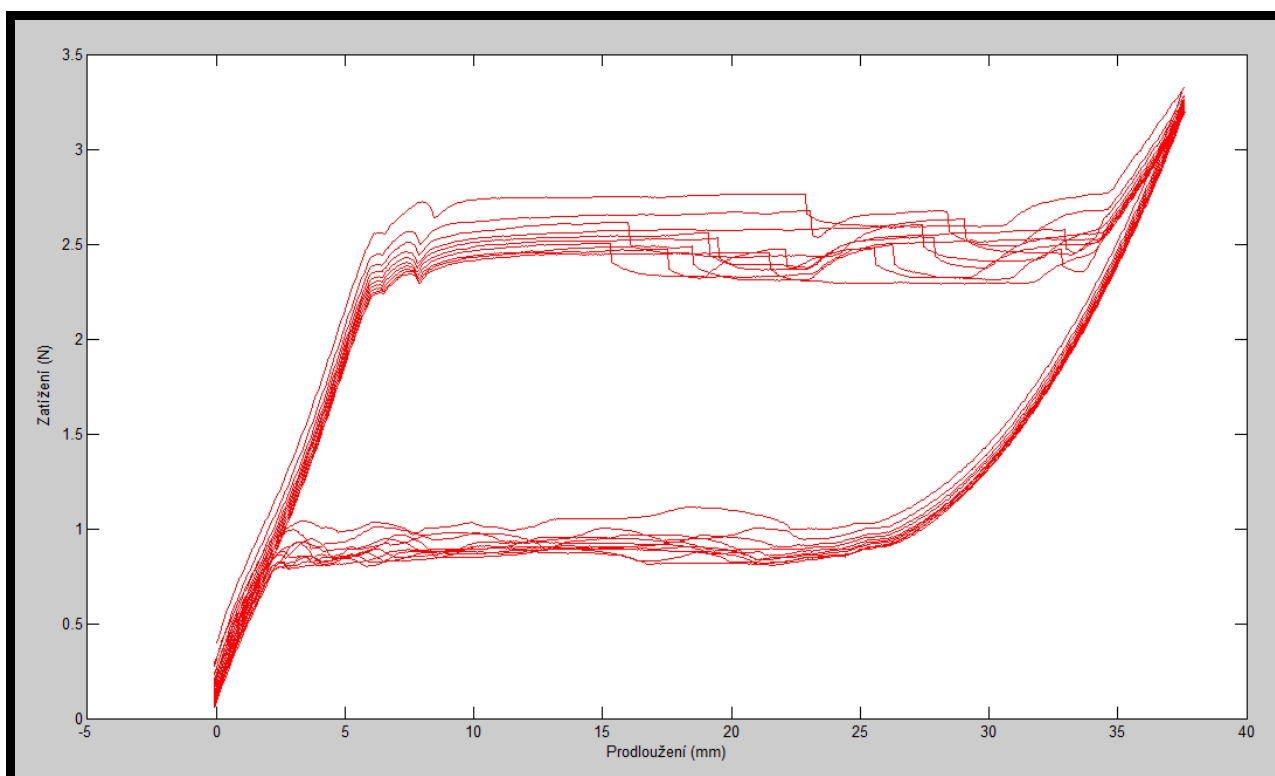


30mm/min

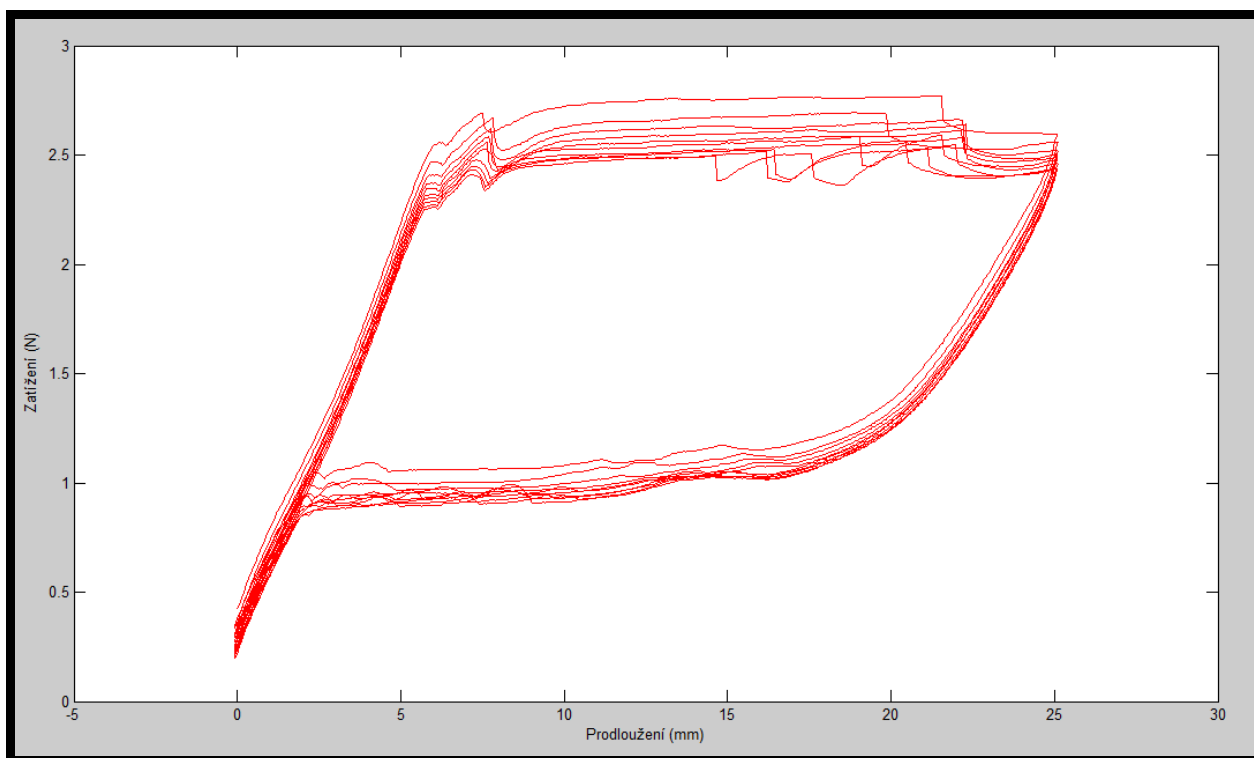
10% prodloužení



7,5% prodloužení



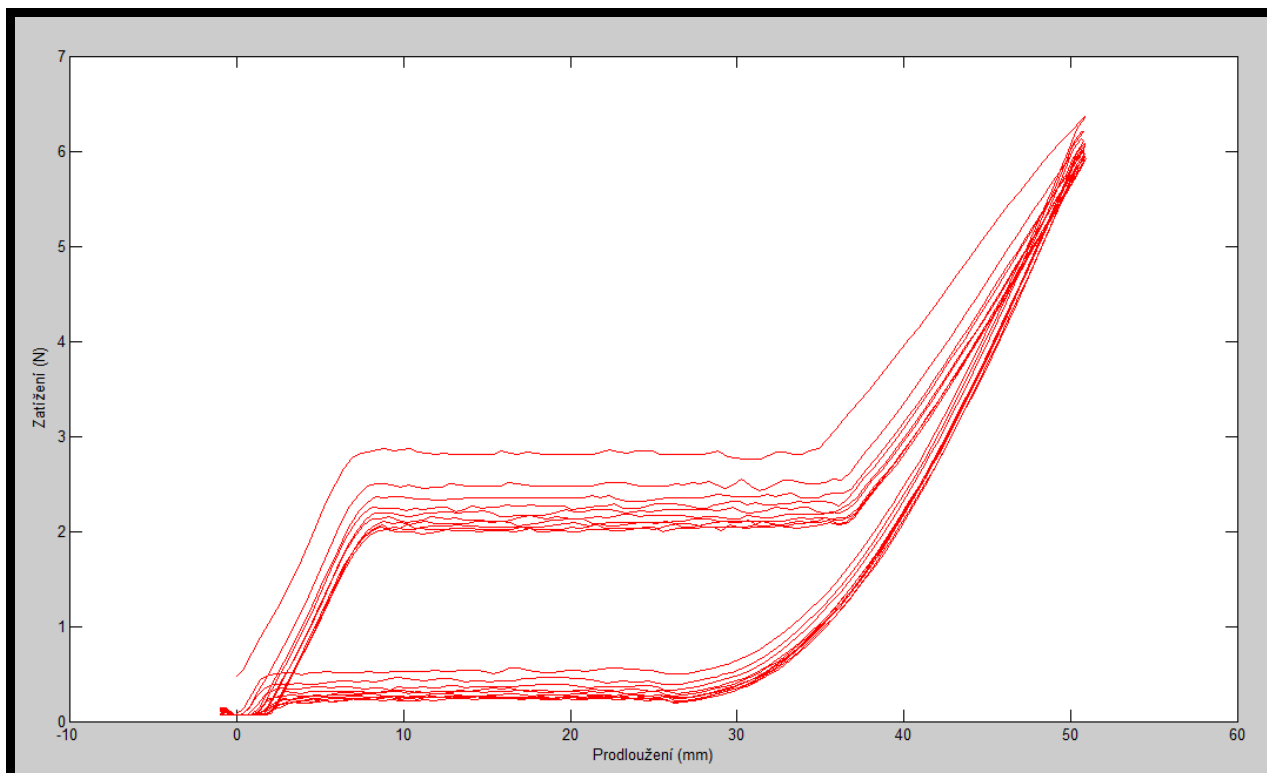
5% prodloužení



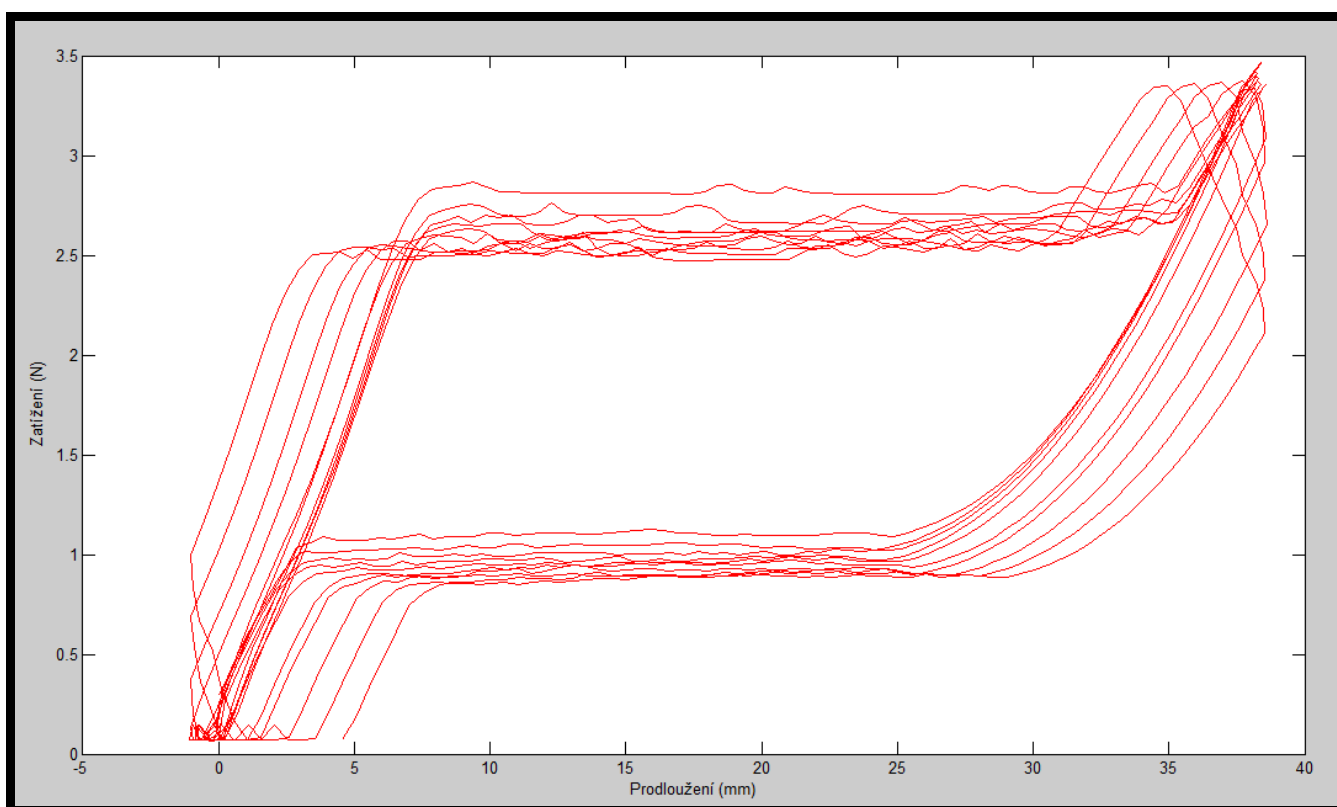
Povrstvený NiTinol

300mm/min

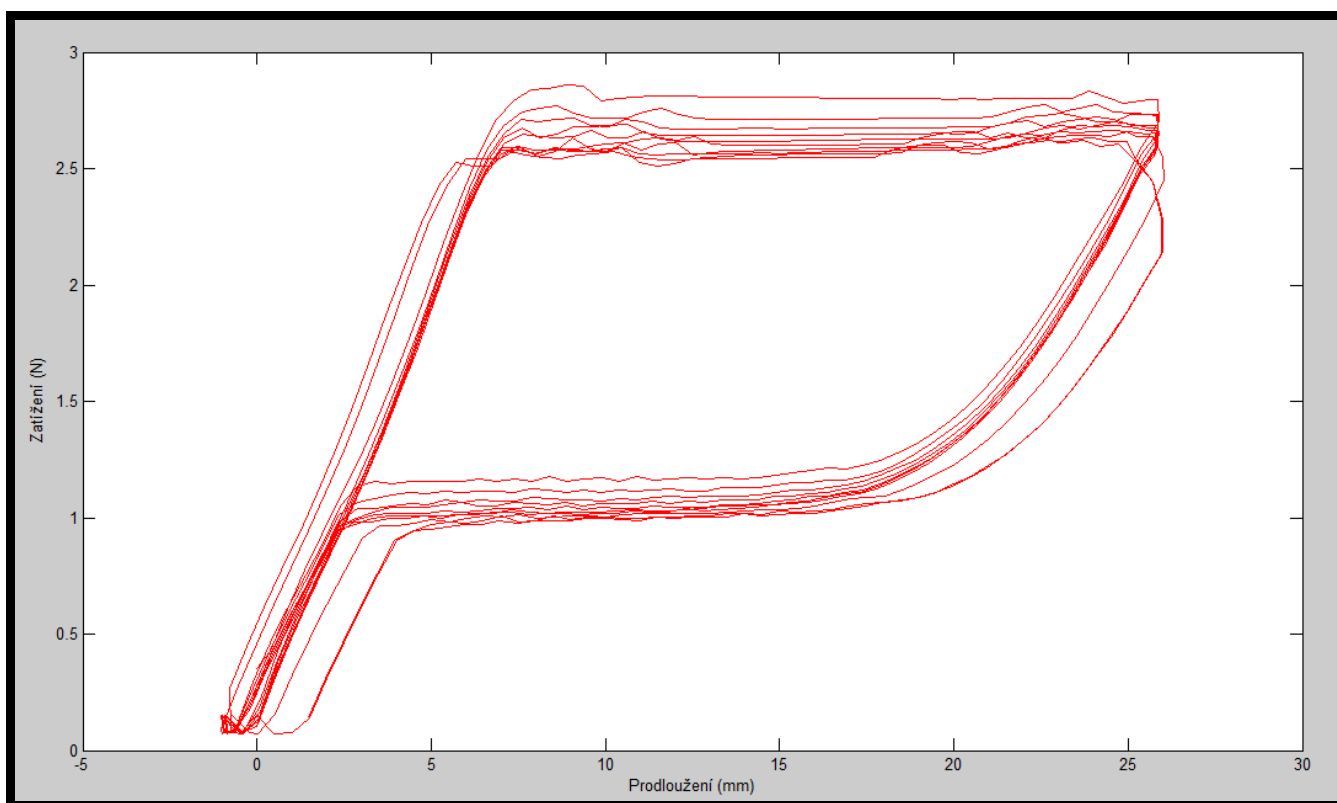
10% prodloužení



7,5% prodloužení

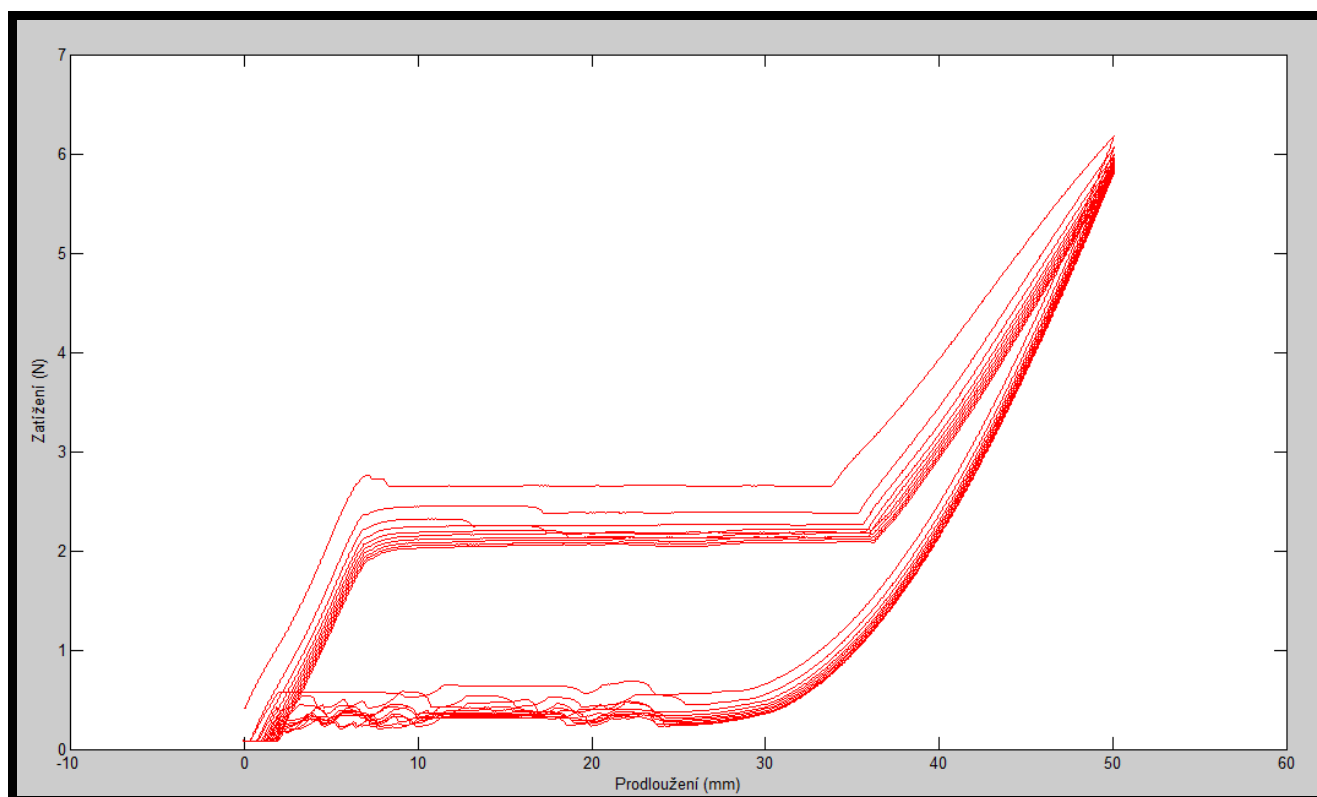


5% prodloužení

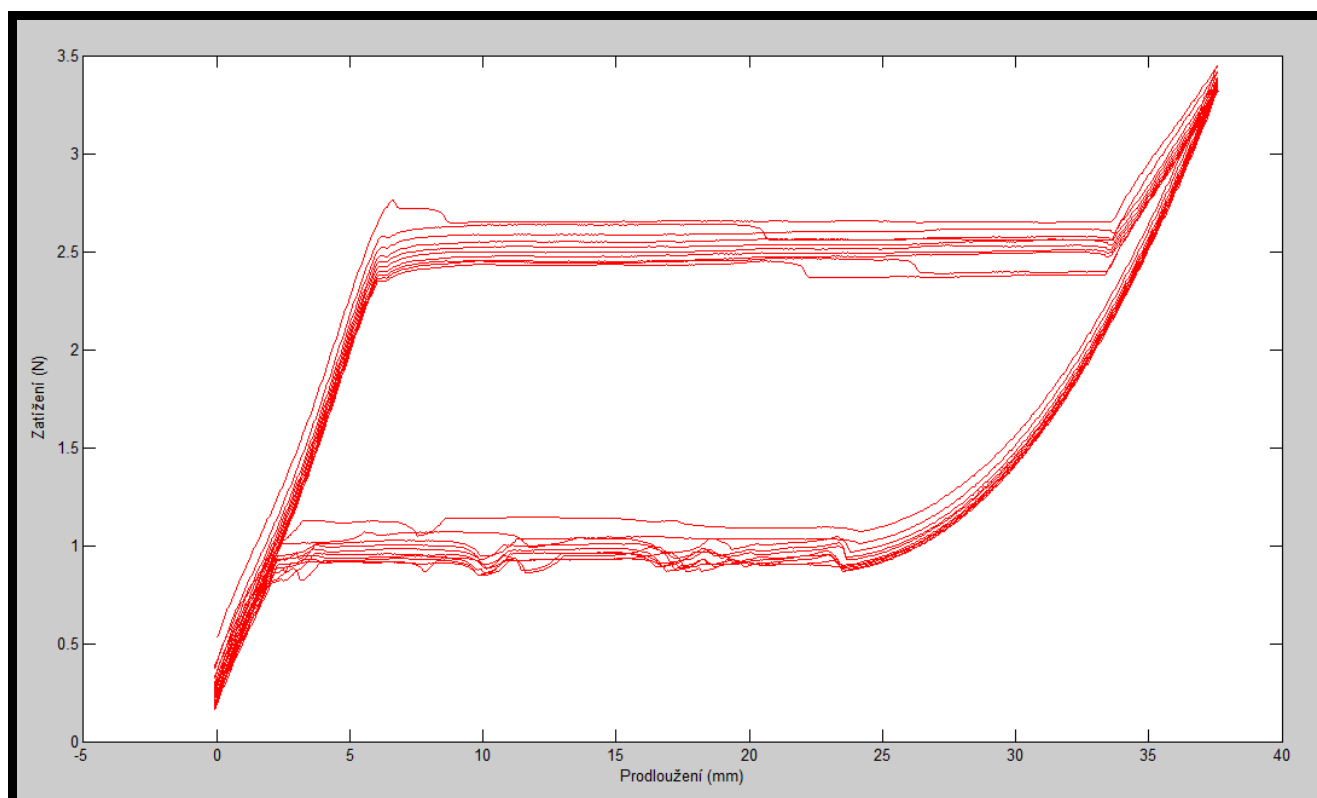


30mm/min

10% prodloužení



7,5% prodloužení



5% prodloužení

